

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**



**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

# **Implementación de un Sistema para el Despliegue de Funciones de Red Virtuales en un Entorno 5G**

**Máster Universitario en Ingeniería de  
Telecomunicación**

**Autor: Pascual Rueda, Borja**

**Tutor: López de Vergara Méndez, Jorge Enrique**  
**Departamento de Tecnología Electrónica**  
**y de las Comunicaciones**

**FECHA: Febrero, 2021**

## **Resumen**

La 5ª generación de redes móviles ha sido diseñada para cumplir con los requisitos de una sociedad hiperconectada y con cada vez mayor movilidad, apostando por la virtualización que permitirá la optimización de recursos y una mejora en el consumo energético. Esta nueva generación de redes hace una apuesta clara por la virtualización de funciones de red consiguiendo un desacoplamiento de las funciones de red respecto a los dispositivos físicos propietarios.

El objetivo de este TFM ha sido profundizar en los aspectos anteriormente mencionados. Para ello, se ha estudiado cómo desplegar funciones de red sobre una infraestructura virtual desde un orquestador, desarrollando casos de uso que se podrán llevar a cabo en las futuras redes 5G, centrándonos en las funciones de red y dejando fuera de alcance la parte radio, así como el núcleo necesario para operarla.

En este trabajo se ha diseñado e implementado un entorno compuesto por dos infraestructuras virtuales y un orquestador, que se encarga de desplegar los distintos servicios de red virtualizados sobre dichas infraestructuras. Hemos diseñado dos casos de uso para estas nuevas redes: el primero es una red virtual cuyas funciones de red son enrutadores virtuales, y el segundo es una red de distribución de contenidos formada por varios servidores CDN y de vídeo, así como de enrutadores y un servidor de DNS.

Por último, se han realizado pruebas funcionales para validar el correcto funcionamiento de los despliegues y pruebas de rendimiento de dichos despliegues, incluyendo el estudio de los recursos necesarios para el despliegue y uso de los mismos.

## **Palabras Clave**

Virtualización, desacoplamiento, orquestador, infraestructuras virtuales, red virtual, Open Source Mano, Openstack

## **Abstract (English)**

The 5th generation of mobile networks has been designed to meet the requirements of a hyper-connected society with increasing mobility, betting on virtualization that will allow the optimization of resources and an improvement in energy consumption. This new generation of networks makes a clear commitment to the virtualization of network functions, achieving a decoupling of network functions with respect to proprietary physical devices.

The objective of this TFM has been to deepen the aforementioned aspects. For this, we have studied study how to deploy network functions on a virtual infrastructure using an orchestrator, developing use cases that can be carried out in future 5G networks, focusing on the network functions and leaving the radio part out, as well as the core needed to operate it.

In this work, an environment composed of two virtual infrastructures and an orchestrator has been designed and implemented that is in charge of deploying the different virtualized network services on said infrastructures. We have designed two use cases for these new networks, the first is a virtual network whose network functions are virtual routers, and the second is a content distribution network made up of several CDN and video servers, as well as routers and a DNS server.

Lastly, functional tests have been carried out to validate the correct operation of the deployments and performance tests of these deployments, including the study of the resources necessary for their deployment and their use.

## **Keywords (English)**

Virtualization, decoupling, orchestrator, virtual infrastructures, virtual network, Open Source MANO, Openstack

## **Agradecimientos**

Me gustaría agradecer a mis padres la oportunidad de estudiar este Máster y las facilidades que me han dado para que pudiese realizarlo de la forma más amena posible, en especial agradezco a mi madre su apoyo incondicional todos estos años. También agradezco a mi tutor, Jorge, el apoyo e interés que he tenido por parte de él y su predisposición a embarcarnos en un trabajo complejo pero que me ha aportado una mejora en el conocimiento de estos campos. Por último, agradezco las flexibilidades que me han brindado desde mi trabajo para poder realizar este Máster y este Trabajo Fin de Máster.

# Índice de contenido

<b>GLOSARIO .....</b>	<b>10</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 MOTIVACIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.3 FASES DEL PROYECTO.....	2
1.4 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA .....	4
<b>2 ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>5</b>
2.1 5G .....	5
2.1.1 <i>Software Defined Network</i> .....	5
2.1.2 <i>Network Slicing</i> .....	7
2.2 VIRTUALIZACIÓN.....	8
2.2.1 <i>Hipervisor</i> .....	8
2.2.2 <i>Máquina Virtual</i> .....	9
2.2.3 <i>Virtualización de Funciones de Red</i> .....	9
2.3 INFRAESTRUCTURA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE .....	10
2.3.1 <i>Infraestructura Pública</i> .....	11
2.3.2 <i>Infraestructura Privada</i> .....	11
2.4 ORQUESTADORES .....	13
2.4.1 <i>MANO</i> .....	14
2.4.2 <i>OS MANO</i> .....	16
2.4.3 <i>Computación en la nube vs Arquitectura NFV</i> .....	17
2.5 MARCO DE ANÁLISIS DE COSTES DE DESPLIEGUE .....	18
2.6 CONCLUSIONES .....	20
<b>3 ANÁLISIS .....</b>	<b>21</b>
3.1 RED VIRTUAL.....	21
3.2 RED DE DISTRIBUCIÓN DE CONTENIDOS .....	21
3.3 CONCLUSIONES .....	23
<b>4 DISEÑO.....</b>	<b>24</b>
4.1 RED VIRTUAL.....	24
4.2 RED DE DISTRIBUCIÓN DE CONTENIDOS .....	29
4.3 CONCLUSIONES .....	32
<b>5 IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>33</b>
5.1 INFRAESTRUCTURA VIRTUAL .....	33
5.2 ORQUESTADOR OS MANO .....	36
5.3 RED VIRTUAL.....	40
5.4 RED DE DISTRIBUCIÓN DE CONTENIDOS .....	56
5.5 COSTES PRELIMINARES DE LOS DESPLIEGUES .....	70
5.6 CONCLUSIONES .....	73
<b>6 PRUEBAS .....</b>	<b>74</b>
6.1 PRUEBAS FUNCIONALES.....	74
6.2 Uso CPU Y TIEMPOS EN DESPLIEGUE .....	82
6.3 PRUEBAS RENDIMIENTO.....	85
6.4 CONCLUSIONES .....	88
<b>7 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO .....</b>	<b>89</b>
7.1 CONCLUSIONES .....	89
7.2 TRABAJO FUTURO .....	91
<b>8 REFERENCIAS.....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>98</b>
A. CLOUD-INIT, NSD Y VNFD RED VIRTUAL .....	98

<i>A.1 Configuración Cloud-Init Galicia</i> .....	98
<i>A.2 Configuración Cloud-Init Asturias</i> .....	98
<i>A.3 Configuración Cloud-Init Cantabria</i> .....	99
<i>A.4 Configuración Cloud-Init País Vasco</i> .....	99
<i>A.5 Configuración Cloud-Init Navarra</i> .....	100
<i>A.6 Configuración Cloud-Init Aragón</i> .....	101
<i>A.7 Configuración Cloud-Init Cataluña</i> .....	101
<i>A.8 Configuración Cloud-Init La Rioja</i> .....	102
<i>A.9 Configuración Cloud-Init Catilla y León</i> .....	103
<i>A.10 Configuración Cloud-Init Madrid</i> .....	103
<i>A.11 Configuración Cloud-Init Castilla y La Mancha</i> .....	104
<i>A.12 Configuración Cloud-Init Valencia</i> .....	105
<i>A.13 Configuración Cloud-Init Extremadura</i> .....	106
<i>A.14 Configuración Cloud-Init Murcia</i> .....	106
<i>A.15 Configuración Cloud-Init Andalucía</i> .....	107
<i>A.16 VNFD Galicia</i> .....	108
<i>A.17 VNFD Asturias</i> .....	109
<i>A.18 VNFD Cantabria</i> .....	110
<i>A.19 VNFD País Vasco</i> .....	111
<i>A.20 VNFD Navarra</i> .....	113
<i>A.21 VNFD Aragón</i> .....	114
<i>A.22 VNFD Cataluña</i> .....	115
<i>A.23 VNFD La Rioja</i> .....	117
<i>A.24 VNFD Catilla y León</i> .....	118
<i>A.25 VNFD Madrid</i> .....	119
<i>A.26 VNFD Castilla y La Mancha</i> .....	122
<i>A.27 VNFD Valencia</i> .....	123
<i>A.28 VNFD Extremadura</i> .....	124
<i>A.29 VNFD Murcia</i> .....	126
<i>A.30 VNFD Andalucía</i> .....	127
<i>A.31 NSD Norte</i> .....	129
<i>A.32 NSD Sur</i> .....	140
<b>B. FICHERO DE CONFIGURACIÓN TEST JMETER</b> .....	150

# Índice de Figuras

FIGURA 1-1 DIAGRAMA GANTT DEL PROYECTO .....	3
FIGURA 2-1 ARQUITECTURA CLÁSICA (IZQUIERDA) Y SDN (DERECHA) [7] .....	6
FIGURA 2-2 ARQUITECTURA SDN. BASADA EN [7] .....	6
FIGURA 2-3 CONCEPTO DE RED SEGMENTADA [9] .....	7
FIGURA 2-4 REDES LÓGICAS 5G IMPLEMENTADAS SOBRE LA MISMA INFRAESTRUCTURA. [11] .....	8
FIGURA 2-5 ARQUITECTURA TRADICIONAL (IZQUIERDA) Y ARQUITECTURA VIRTUAL (DERECHA) .....	9
FIGURA 2-6 VISIÓN DE LAS FUNCIONES DE RED VIRTUALES [15]. .....	10
FIGURA 2-7 COMPONENTES OPENSTACK [20] .....	12
FIGURA 2-8 COMPONENTES VMWARE vSPHERE [27] .....	13
FIGURA 2-9 ARQUITECTURA NFV-MANO. BASADA EN [29] .....	14
FIGURA 2-10 ELEMENTOS A ALTO NIVEL DE UN SERVICIO DE RED .....	15
FIGURA 2-11 EJEMPLO DE SERVICIO DE RED [29] .....	16
FIGURA 2-12 COMUNICACIÓN OSM CON VIM Y VNF [32]. .....	17
FIGURA 2-13 RELACIÓN MODELO SERVICIOS NUBE Y ARQUITECTURA NFV [5] .....	18
FIGURA 2-14 CASO DE PRUEBA 1 [32] .....	18
FIGURA 2-15 CASO DE PRUEBA 2 [32] .....	18
FIGURA 2-16 CASO DE PRUEBA 3 [32] .....	18
FIGURA 3-1 COLABORACIÓN ISP Y CDN [33]. .....	22
FIGURA 3-2 ARQUITECTURA VIRTUALIZADA DE UN ISP [33] .....	22
FIGURA 4-1 DIAGRAMA REDIRIS-10 .....	24
FIGURA 4-2 DIAGRAMA DE RED DEL CASO DE USO DE RED VIRTUAL .....	25
FIGURA 4-3 DIAGRAMA DE RED ZONA NORTE .....	27
FIGURA 4-4 DIAGRAMA DE RED ZONA SUR .....	27
FIGURA 4-5 EJEMPLO CÁLCULO DE COSTES DE RUTAS [35] .....	29
FIGURA 4-6 DIAGRAMA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CONTENIDO .....	31
FIGURA 4-7 RESOLUCIÓN DE DOMINIOS POR LOCALIZACIÓN .....	32
FIGURA 5-1 ARQUITECTURA POPS .....	34
FIGURA 5-2 ENTORNO SOBRE VMWARE .....	35
FIGURA 5-3 ARQUITECTURA OS MANO – OPENSTACK [36]. .....	36
FIGURA 5-4 ARQUITECTURA POPS Y ORQUESTADOR .....	37
FIGURA 5-5 RELACIÓN NSD Y VNFD .....	38
FIGURA 5-6 RELACIÓN COMPONENTES OS MANO - OPENSTACK .....	39
FIGURA 5-7 GRÁFICA NSD RED NORTE EN ORQUESTADOR OS MANO .....	46
FIGURA 5-8 GRÁFICA NSD RED SUR EN ORQUESTADOR OS MANO .....	51
FIGURA 5-9 OPENSWITCH COMUNICACIÓN DE UNA INSTANCIA CON LA RED EXTERNA A LA INFRAESTRUCTURA VIRTUAL .....	51
FIGURA 5-10 DESPLIEGUE RED NORTE SOBRE POP NORTE.      FIGURA 5-11 DESPLIEGUE RED SUR SOBRE POP SUR. ....	52
FIGURA 5-12 DESPLIEGUE RED VIRTUAL SOBRE ZONA NORTE Y SUR .....	52
FIGURA 5-13 REDES EN OPENSTACK POP NORTE .....	53
FIGURA 5-14 INSTANCIAS EN OPENSTACK POP NORTE .....	53
FIGURA 5-15 REDES EN OPENSTACK POP SUR .....	53
FIGURA 5-16 INSTANCIAS EN OPENSTACK POP SUR .....	54
FIGURA 5-17 DIAGRAMA NSD ZONA NORTE MEC .....	64
FIGURA 5-18 DIAGRAMA NSD ZONA SUR MEC .....	67
FIGURA 5-19 INSTANCIAS OPENSTACK ZONA NORTE MEC .....	67
FIGURA 5-20 REDES OPENSTACK ZONA NORTE MEC .....	68
FIGURA 5-21 INSTANCIAS OPENSTACK ZONA SUR MEC .....	68
FIGURA 5-22 REDES OPENSTACK ZONA NORTE MEC .....	69
FIGURA 6-1 VECINOS OSPF ENRUTADOR MADRID .....	74
FIGURA 6-2 TABLA DE RUTAS OSPF ENRUTADOR MADRID (1/4) .....	75
FIGURA 6-3 TABLA DE RUTAS OSPF ENRUTADOR MADRID (2/4) .....	75
FIGURA 6-4 TABLA DE RUTAS OSPF ENRUTADOR MADRID (3/4) .....	76
FIGURA 6-5 TABLA DE RUTAS OSPF ENRUTADOR MADRID (4/4) .....	76
FIGURA 6-6 TRACEROUTE MADRID – ANDALUCÍA. ....	76
FIGURA 6-7 TRACEROUTE MURCIA - MADRID. ....	77
FIGURA 6-8 TRACEROUTE MURCIA - ARAGÓN. ....	77

FIGURA 6-9 TRACEROUTE MURCIA - GALICIA. ....	77
FIGURA 6-10 TRACEROUTE MURCIA - ASTURIAS. ....	78
FIGURA 6-11 TRACEROUTE MURCIA - CANTABRIA. ....	78
FIGURA 6-12 IFCONFIG MÁQUINA DE PRUEBA EN ANDALUCÍA MEC. ....	79
FIGURA 6-13 NSLOOKUP MÁQUINA DE PRUEBA EN ANDALUCÍA MEC. ....	79
FIGURA 6-14 DESCARGA DE VÍDEO MÁQUINA DE PRUEBA EN ANDALUCÍA MEC. ....	80
FIGURA 6-15 IFCONFIG MÁQUINA DE PRUEBA EN MADRID MEC. ....	80
FIGURA 6-16 NSLOOKUP MÁQUINA DE PRUEBA EN MADRID MEC. ....	80
FIGURA 6-17 DESCARGA DE VÍDEO MÁQUINA DE PRUEBA EN MADRID MEC. ....	81
FIGURA 6-18 IFCONFIG MÁQUINA DE PRUEBA EN CATALUÑA MEC. ....	81
FIGURA 6-19 NSLOOKUP MÁQUINA DE PRUEBA EN CATALUÑA MEC. ....	81
FIGURA 6-20 DESCARGA DE VÍDEO MÁQUINA DE PRUEBA EN CATALUÑA MEC. ....	81
FIGURA 6-21 TIEMPO DE DESPLIEGUE DE LA RED VIRTUAL. ....	82
FIGURA 6-22 USO DE CPU EN EL DESPLIEGUE DE LA RED VIRTUAL. ....	83
FIGURA 6-23 TIEMPO DE DESPLIEGUE DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CONTENIDOS. ....	84
FIGURA 6-24 USO DE CPU EN EL DESPLIEGUE DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CONTENIDOS. ....	84
FIGURA 6-25 LATENCIA (RTT) EN MS RESPECTO AL NÚMERO DE ENRUTADORES POR LOS QUE SE TRANSITA. ....	85
FIGURA 6-26 ANCHO DE BANDA EN MBPS RESPECTO AL NÚMERO DE ENRUTADORES POR LOS QUE SE TRANSITA. ....	85
FIGURA 6-27 ENTORNO DESPLEGADO POR CAPAS. ....	86
FIGURA 6-28 COMPARATIVA TIEMPO DE RESPUESTA SERVIDOR DE VÍDEO Y SERVIDOR CDN EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CONTENIDOS. ....	87
FIGURA 6-29 COMPARATIVA ANCHO DE BANDA ENTRE SERVIDOR DE VÍDEO Y CDN EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CONTENIDOS. ....	88



# Índice de Tablas

TABLA 1-1 TAREAS DEL PROYECTO.....	2
TABLA 2-1 COSTE DE LOS RECURSOS EN UNA IMPLEMENTACIÓN TRADICIONAL. BASADO EN [32]. .....	19
TABLA 2-2 COSTE DE LOS RECURSOS DE UNA IMPLEMENTACIÓN NFV. BASADO EN [32]. .....	19
TABLA 2-3 CAPEX DE CADA CASO DE USO. BASADO EN [32]. .....	19
TABLA 2-4 OPEX DE CADA CASO DE USO. BASADO EN [32]. .....	20
TABLA 4-1 DIRECCIONAMIENTO PARA COMUNICACIÓN PUNTO A PUNTO ENTRE ENRUTADORES .....	25
TABLA 4-2 REDES DELEGADAS A CADA COMUNIDAD .....	26
TABLA 4-3 RANGOS CONEXIÓN PUNTO A PUNTO PARA RED CDN .....	30
TABLA 4-4 REDES PARA CADA COMUNIDAD .....	30
TABLA 5-1 RECURSOS INICIALES POP.....	34
TABLA 5-2 RECURSOS INICIALES DE LOS DOS POP .....	34
TABLA 5-3 RECURSOS HOST UBUNTU SOBRE VMWARE.....	35
TABLA 5-4 RECURSOS DEL POP EN EL NUEVO ENTORNO. ....	35
TABLA 5-5 COMANDOS PARA AÑADIR VIM A OS MANO .....	36
TABLA 5-6 RECURSOS DEL ORQUESTADOR EN EL NUEVO ENTORNO. ....	39
TABLA 5-7 FICHERO CONFIGURACIÓN CLOUD-INIT ENRUTADOR GALICIA.....	40
TABLA 5-8 VNFD GALICIA .....	41
TABLA 5-9 NSD NORTE PARCIAL CON ENRUTADOR GALICIA .....	43
TABLA 5-10 FICHERO CONFIGURACIÓN CLOUD-INIT ENRUTADOR MADRID .....	47
TABLA 5-11 PUNTOS DE CONEXIÓN VNFD MADRID .....	48
TABLA 5-12 NOMBRE Y FICHERO CONFIGURACIÓN CLOUD-INIT EN VNFD MADRID .....	49
TABLA 5-13 INTERFACES VNFD MADRID .....	49
TABLA 5-14 RECURSOS NECESARIOS POR ENRUTADOR.....	55
TABLA 5-15 RECURSOS NECESARIOS POR POP Y TOTALES PARA LA RED VIRTUAL .....	55
TABLA 5-16 FICHERO DE CONFIGURACIÓN DNS NAMED.CONF .....	56
TABLA 5-17 DOMINIO VIDEOSERVER.ES ZONA NORTE.....	57
TABLA 5-18 DOMINIO VIDEOSERVERORIG.ES ZONA NORTE .....	58
TABLA 5-19 CONFIGURACIÓN FICHERO NGINX EN SERVIDOR CDN .....	58
TABLA 5-20 VNFD SERVIDOR DNS.....	59
TABLA 5-21 VNFD SERVIDOR DE VIDEO .....	60
TABLA 5-22 VNFD SERVIDOR CDN .....	61
TABLA 5-23 NSD ZONA NORTE MEC.....	62
TABLA 5-24 NSD ZONA SUR MEC .....	64
TABLA 5-25 RECURSOS NECESARIOS POR VNF .....	69
TABLA 5-26 RECURSOS NECESARIOS POR POP Y TOTALES PARA LA RED MEC .....	70
TABLA 5-27 RECURSOS HOST EN COSTES PRELIMINARES .....	70
TABLA 5-28 RECURSOS DE CADA POP EN COSTES PRELIMINARES.....	70
TABLA 5-29 COSTES HARDWARE POP EN COSTES PRELIMINARES .....	70
TABLA 5-30 COSTES EQUIPAMIENTO FÍSICO CASO DE USO RED VIRTUAL.....	71
TABLA 5-31 COSTES EQUIPAMIENTO FÍSICO CASO DE USO RED MEC.....	72
TABLA 5-32 COSTES EQUIPAMIENTO FÍSICO MÁQUINAS DE PRUEBA .....	72
TABLA 5-33 COMPARATIVA SOLUCIÓN VIRTUALIZADA FRENTE A FÍSICA .....	72
TABLA 6-1 RECURSOS ENTORNO DESPLEGADO.....	82
TABLA 6-2 LATENCIA ENTRE DOS MÁQUINAS EN CADA CAPA DE VIRTUALIZACIÓN. ....	86
TABLA 6-3 LATENCIA EN LA MISMA MÁQUINA (PING 127.0.0.1) EN CADA CAPA DE VIRTUALIZACIÓN. ....	86

## Glosario

API	<i>Application Programming Interfaces</i> , Interfaz de Programación de Aplicaciones
BGP	<i>Border Gateway Protocol</i> , Protocolo de Puerta de Enlace de Frontera
CDN	<i>Content Delivery Network</i> , Red de Distribución de Contenido
CPU	<i>Central Processing Unit</i> , Unidad Central de Procesamiento
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i> , Protocolo de Configuración Dinámica de Equipo
DNS	<i>Domain Name System</i> , Sistema de Nombres de Dominio
ECMP	<i>Equal-Cost Multipath</i> , Caminos Múltiples de Igual Coste
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i> , Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
IoT	<i>Internet of Things</i> , Internet de las Cosas
IP	<i>Internet Protocol</i> , Protocolo de Internet
M2M	<i>Machine to Machine</i> , Máquina a Máquina
MANO	<i>Management and Orchestration</i> , Gestión y Orquestación
MEC	<i>Multi-Access Edge Computing</i> , Computación de borde de acceso múltiple
NF	<i>Network Function</i> , Función de Red
NSD	<i>Network Service Descriptor</i> , Descriptor de Servicio de Red
OSPF	<i>Open Shortest Path First</i> , Abrir el Camino más Corto Primero
PNF	<i>Physical Network Function</i> , Función Física de Red
RTT	<i>Round-Trip Time</i> , Tiempo de Ida y Vuelta
SDN	<i>Software-Defined Networks</i> , Redes Definidas por Software
VDU	<i>Virtual Deployment Unit</i> , Unidad de Implementación Virtual
VIM	<i>Virtualised Infrastructure Manager</i> , Gestor de Infraestructura Virtualizada
VLD	<i>Virtual Link Descriptor</i> , Descriptor de Enlace Virtual
VM	<i>Virtual Machine</i> , Máquina Virtual
VNF	<i>Virtual Network Function</i> , Función de Red Virtual,
VNFD	<i>Virtual Network Function Descriptor</i> , Descriptor de Función de Red Virtual

# 1 Introducción

En este capítulo se justificará la realización de este Trabajo Fin de Máster (TFM), los objetivos a alcanzar y las fases en las que se divide el trabajo, así como la organización de esta memoria.

## 1.1 Motivación

El despliegue de las redes móviles de 5ª generación (5G) supone un cambio de paradigma en las arquitecturas y sistemas de comunicaciones empleados hasta la fecha, no solo en su interfaz radio, sino también en el núcleo de la red. Para implementar el núcleo de las redes 5G [1] se hace una apuesta clara por las redes definidas por software (SDN, *Software-Defined Networks*) y las funciones de red virtuales (VNF, *Virtual Network Function*) [2], que deben ser gestionadas y orquestadas (MANO, *Management & Orchestration*) [3].

El despliegue de estas tecnologías permite a los operadores disponer de redes y servicios más flexibles y reconfigurables. Este nuevo enfoque plantea la oportunidad a los operadores de aportar nuevos servicios de valor añadido y no convertirse en meros gestores de una infraestructura encargada de la transmisión de los datos. Al poder desplegar servicios virtualizados de una manera rápida y eficiente, el “*time to market*” se reduce considerablemente, consiguiendo ser más competitivos, requisito imprescindible en un mercado en constante cambio.

La virtualización permite abstraerse del hardware, habilitando desplegar un sinfín de funciones de red sobre el mismo hardware de propósito general. Al no depender de un hardware específico, por cada función de red, traerá consigo un ahorro para los operadores.

Otro punto importante en las futuras redes 5G es la computación en las redes de acceso (MEC, *Multi-access Edge Computing*). Este concepto consiste en acercar las capacidades de computación en la nube a las redes de acceso, que se encuentran próximas al usuario final, permitiendo así reducir la latencia por debajo de 1 ms [4].

Por último, destacaremos la segmentación de red (*Network Slicing*) [5], la cual permite que distintas redes virtuales independientes puedan ser ejecutadas sobre la misma infraestructura física. Este concepto permite diseñar redes basándose en el servicio que se desea prestar, desde servicios que requieren un gran ancho de banda a otros que necesitan de una baja latencia. Todas estas redes deberán ser gestionadas por un orquestador y en la mayoría de los casos deberá estar automatizado tanto el despliegue como la supervisión de las mismas.

Este TFM tiene el objetivo de profundizar en los aspectos anteriormente mencionados. Para ello, se estudiará cómo desplegar funciones de red sobre una infraestructura virtual desde un orquestador, desarrollando casos de uso que se podrán llevar a cabo en las futuras redes 5G, centrándonos en las funciones de red y dejando fuera de alcance la parte radio, así como el núcleo necesario para operarla.

## 1.2 Objetivos

El TFM tiene como objetivo estudiar, diseñar e implementar casos de uso relacionados con uno de los pilares fundamentales de las redes 5G, la virtualización de la red. Para alcanzar estos objetivos, el proyecto se ha organizado en una serie de subobjetivos que se detallan a continuación:

- Comprender mejor la estructura de este tipo de redes virtuales.
- Comprobar el funcionamiento de los distintos elementos que proporcionan el soporte a estas redes.
- Aprender cómo desplegar funciones de red virtuales.
- Medir las prestaciones que se pueden alcanzar sobre este tipo de escenarios virtuales.

## 1.3 Fases del Proyecto

Las distintas tareas del proyecto se ilustran mediante un diagrama de Gantt en la Figura 1-1, y se resumen en la Tabla 1-1. El trabajo se ha dividido en 4 grandes fases que se describen a continuación. La primera, denominada “Estudio y análisis” se centra en las implicaciones que tiene esta nueva generación de redes móviles en la red, también se investiga las distintas plataformas de computación de la nube, así como los orquestadores y las funciones de red virtuales.

En la segunda fase, denominada “Diseño y desarrollo” nos centramos en cómo desplegar el entorno conformado por las infraestructuras virtuales y el orquestador, junto con el despliegue sobre dicho entorno de las funciones de red virtuales. El despliegue de dicho entorno llevo gran parte del tiempo de este segundo grupo debido a la complejidad del mismo.

En la tercera fase, denominada “Verificación y validación” realizamos las pruebas funcionales que justifican el correcto funcionamiento de las soluciones y escenario desplegados. Además, realizaremos pruebas de rendimiento de dichos escenarios.

Por último, tenemos el grupo denominado “Documentación” donde se realizará la memoria de este trabajo y la presentación del mismo.

*Tabla 1-1 Tareas del proyecto*

Tareas / subtareas	Horas
<b>T1. Estudio y análisis</b>	<b>60</b>
T1.1 Estudio del estado del arte de las redes 5G	20
T1.2 Estudio y análisis sobre plataformas de computación en la nube	10
T1.3 Estudio y análisis sobre orquestadores	10
T1.4 Estudio y análisis sobre funciones de red virtualizadas	20
<b>T2. Diseño y desarrollo</b>	<b>150</b>
T2.1 Despliegue de una plataforma de computación en la nube	20
T2.2 Despliegue de un orquestador	20
T2.3 Creación de funciones de red virtualizadas	50
T2.4 Despliegue de distintos escenarios	60

<b>T3 Verificación y validación</b>	<b>55</b>
T3.1 Pruebas para verificar correcto funcionamiento de las soluciones desplegadas	25
T3.2 Pruebas de rendimiento para comparar los distintos escenarios desplegados	30
<b>T4 Documentación</b>	<b>35</b>
T4.1 Redacción de la memoria del TFM	30
T4.1 Elaboración de la Presentación	5
<b>TOTAL HORAS</b>	<b>300</b>

	2020												2021
Tarea	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero						
T1													
T1.1													
T1.2													
T1.3													
T1.4													
T2													
T2.1													
T2.2													
T2.3													
T2.4													
T3													
T3.1													
T3.2													
T4													
T4.1													
T4.2													

Figura 1-1 Diagrama Gantt del proyecto

## 1.4 Organización de la Memoria

La memoria consta de los siguientes capítulos:

- En el capítulo 2, titulado **Estado del arte**, se describirán los conceptos más importantes que son necesarios para realizar este proyecto.
- En el capítulo 3, titulado **Análisis**, describirá el análisis que justifica los casos de uso que se diseñarán e implementarán en este TFM. Primero nos centraremos sobre una Red virtual como caso de uso de *Network Slicing*, y seguiremos con una red de distribución de contenidos que estaría dentro del caso de uso MEC.
- En el capítulo 4, titulado **Diseño**, se va a explicar y desarrollar los dos casos de caso de uso que se van a implementar en este TFM. Primero nos centraremos en la red virtual, luego en la red de distribución de contenidos.
- En el capítulo 5, titulado **Implementación**, se describe como se ha instanciado el entorno que ha sido montado para desplegar estas redes, luego veremos cómo se ha desplegado el caso de red virtual, tras esto hablaremos del despliegue de la red de distribución de contenidos.
- En el capítulo 6, titulado **Pruebas**, vamos a hablar de las pruebas funcionales que se ha realizado para verificar que el despliegue de los dos casos de uso ha funcionado correctamente, continuaremos con pruebas de rendimiento y una serie de métricas donde podremos apreciar la carga de CPU en las infraestructuras virtuales, en el orquestador, así como, en el host sobre el que ejecuta todo.
- Finalmente, en el capítulo 7 titulado **Conclusiones y trabajo futuro**, resumimos las conclusiones que se derivan de la realización de este proyecto, así como las posibilidades de desarrollo y mejora de dicho proyecto.

## 2 Estado del Arte

En este capítulo, hablaremos del estado del arte relevante para este proyecto que nos permitirá conocer los diferentes campos necesarios para comprender cómo y con qué soluciones se ha realizado este trabajo. Introduciremos los conceptos más importantes de una Red 5G para después adentrarnos en la virtualización, donde nos centraremos en la virtualización de funciones de Red. Tras esto, hablaremos de la infraestructura donde se desplegarán los servicios virtualizados. Por último, hablaremos de los orquestadores que son los responsables de desplegar las distintas funciones de red virtuales sobre una infraestructura. Por último, realizaremos un estudio preliminar de los costes asociados al despliegue funciones de red de manera virtual frente a la física.

### 2.1 5G

La 5ª generación de redes móviles ha sido diseñada para cumplir con los requisitos de una sociedad hiperconectada y con una gran movilidad. El creciente consumo de servicios multimedia y la demanda de servicios de alta calidad ha provocado un cambio fundamental en la manera en la que se gestionan las redes, en términos de abstracción, separación, así como, de la gestión y control de dichos servicios. Para 2023 el número de dispositivos conectados a la red IP será más de tres veces la población mundial, unos 29.3 mil millones de dispositivos. Las conexiones Máquina a Máquina (M2M, *Machine-To-Machine*) representarán el 50% de todos los dispositivos conectados; de esta categoría, en la que está incluido el Internet de las Cosas (IoT, *Internet of Things*), destacarán las aplicaciones domóticas para las viviendas y el coche conectado [6].

Dos de los pilares fundamentales de las redes 5G son las redes definidas por *software* (SDN, *Software-Defined Networks*) y las funciones de red virtuales (VNF, *Virtual Network Function*) [2], que se describen a continuación.

#### 2.1.1 Software Defined Network

Las redes definidas por *software* (SDN, *Software Defined Network*) son un enfoque innovador para diseñar, implementar y administrar redes que tienen separado el plano de control y el plano de datos o proceso de reenvío de la red para una mejor experiencia del usuario. Permite combinar las ventajas de la virtualización y la computación en la nube con la implementación de una inteligencia central que permite tener una gran visibilidad de la red permitiendo una gestión y mantenimiento de la misma más sencillos [7].

En una infraestructura convencional, la implementación, configuración o la resolución de problemas requieren de un gran conocimiento de la red así como unos costes elevados de intervención y operación, ya que normalmente involucran a varios proveedores. Tal como se muestra en la Figura 2-1, el SDN separa las decisiones de enrutamiento y reenvío de los elementos de red del plano de datos, por lo tanto el plano de control se ocupa de la información relacionada con la topología de la red y enrutamiento o reenvío del tráfico consiguiendo así que la administración y gestión se realiza de manera más sencilla. Por el contrario, el plano de datos orquesta el tráfico de la red de acuerdo con la configuración establecida en el plano de control [7].

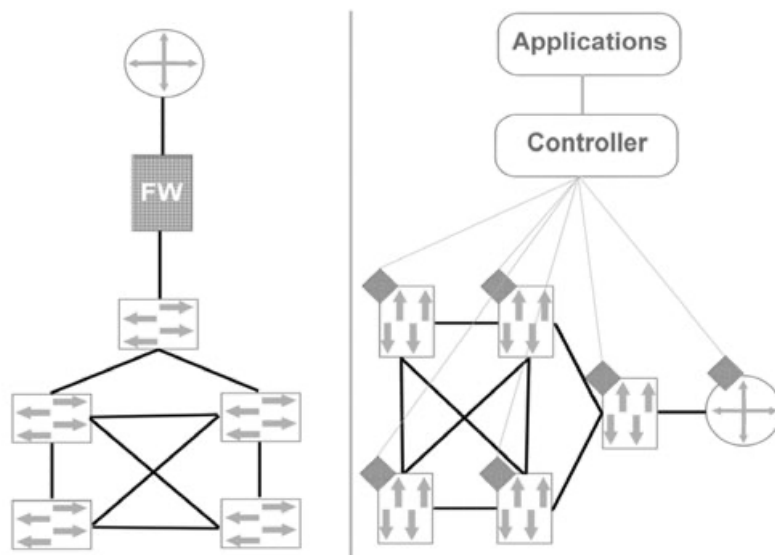


Figura 2-1 Arquitectura clásica (izquierda) y SDN (derecha) [7]

La arquitectura SDN se divide en tres capas:

- Plano de Aplicación, consiste en una o más aplicaciones, cada una de las cuales controla, en exclusiva, un conjunto de recursos expuesto por los controladores SDN.
- Plano de Control, consiste en un conjunto de controladores SDN, cada cual controla en exclusiva un conjunto de recursos expuestos por uno o más elementos del plano de datos. La función mínima de un controlador SDN es ejecutar las solicitudes del plano de aplicación, al mismo tiempo que aísla cada aplicación del resto.
- Plano de Datos, consiste en uno o varios elementos de red, cada uno de los cuales tiene un conjunto de recursos de procesamiento o reenvío de tráfico.

Tal como se muestra en la Figura 2-2, cada aplicación, controlador SDN y elemento de red tienen una interfaz con un gestor. La funcionalidad mínima que debe tener este gestor es la de asignar recursos del plano inferior a una entidad cliente situada en el plano superior y permitir que las entidades del plano inferior y plano superior se comuniquen mutuamente [8].

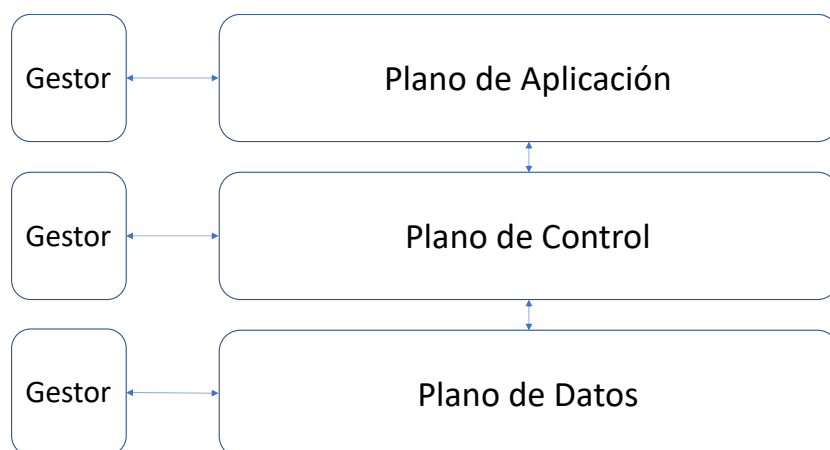


Figura 2-2 Arquitectura SDN. Basada en [7].



### 2.1.2 Network Slicing

Una *Slice* es una red lógica que se ejecuta sobre una infraestructura común, ya sea física o virtual, mutuamente aislada con control y gestión independiente, que puede ser creada a demanda. El concepto de segmentación de red incluye 3 capas [9]:

- Instancia de servicio, representa el servicio, al usuario final o comercial, que debe ser soportado. Normalmente, el operador de red usa plantillas para crear estas instancias.
- Instancia de segmento de red, es el conjunto de funciones de red y recursos para ejecutar dichas funciones, formando una red lógica instanciada para cumplir con ciertas características de red requeridas por las instancias de servicio.
- Recursos, pueden ser físicos como un conjunto de activos de computación, almacenamiento o transporte; o virtuales, que son una partición de los recursos físicos.

Las distintas capas se pueden observar en la Figura 2-3:

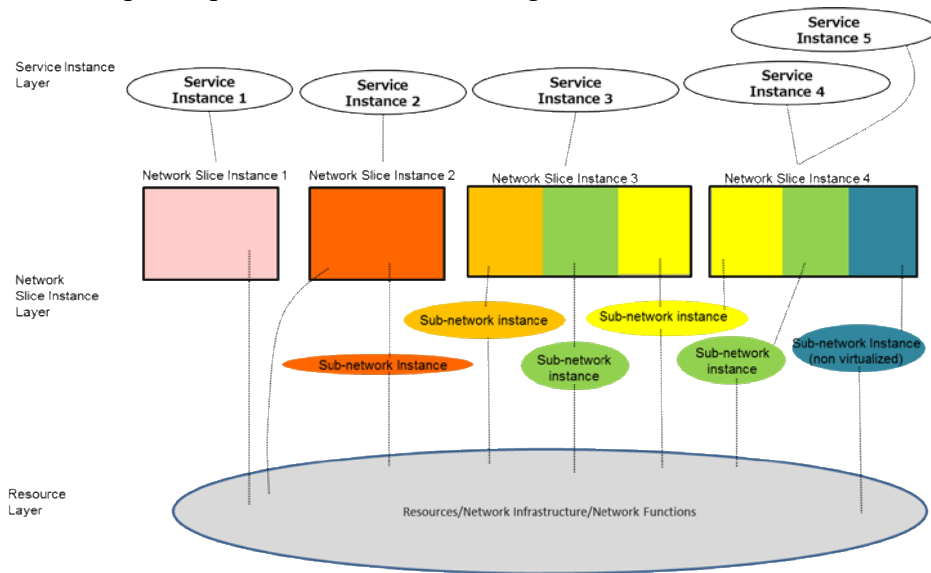


Figura 2-3 Concepto de Red Segmentada [9]

En la Figura 2-4, se puede ver un ejemplo de múltiples redes lógicas operadas concurrentemente sobre la misma infraestructura en la que cada red lógica tendrá capacidades y características específicas. Una red lógica para *Smartphones* con funciones distribuidas, otra para la conducción autónoma, para la cual será necesaria una red lógica con baja latencia, segura y fiable. El 5G, gracias al *Network Slicing*, permitirá industrias verticales con un conjunto diverso de requisitos de rendimiento y servicio [10].

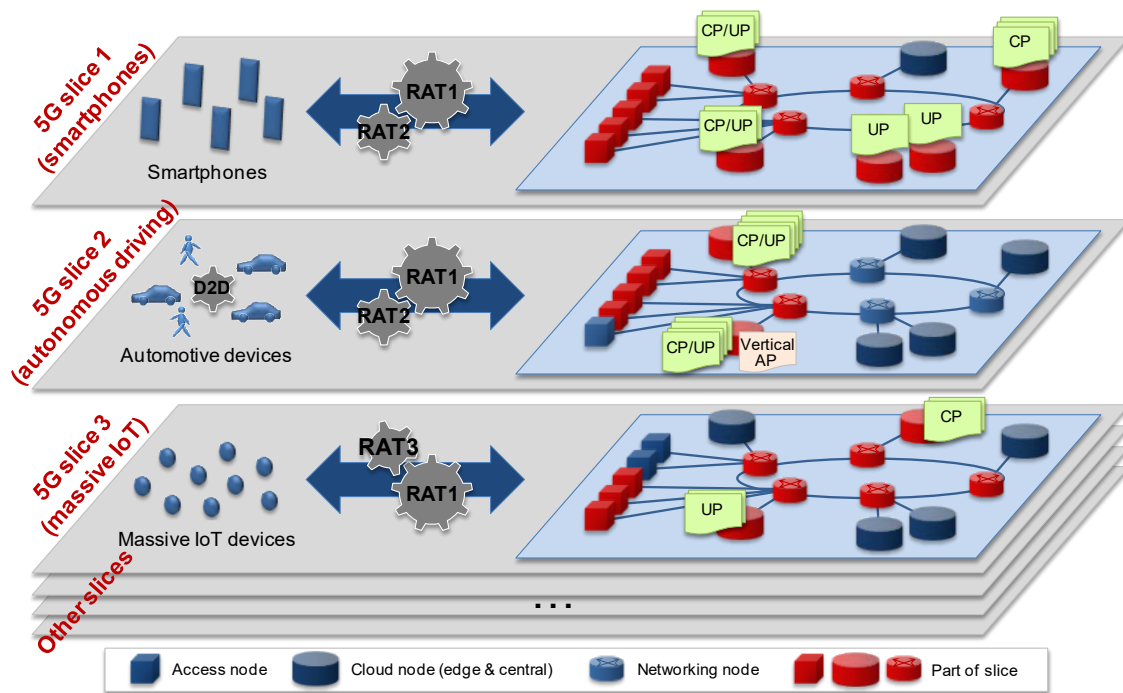


Figura 2-4 Redes lógicas 5G implementadas sobre la misma infraestructura. [11]

## 2.2 Virtualización

La virtualización establece una capa de abstracción entre el hardware y el sistema operativo de una máquina virtual. Dicha capa permite disponer de varios equipos virtuales dentro de uno físico. Al abstraer el *hardware*, la virtualización permite que los servidores físicos, que si solo ejecutaran una instancia estarían infrautilizados, formen parte una infraestructura que permita ejecutar numerosas máquinas virtuales, consiguiendo una mayor ratio de utilización de la infraestructura.

Gracias a que la virtualización permite una mayor utilización de los recursos hardware, se consigue una reducción de costes, ya que en una misma máquina física se pueden ejecutar diferentes máquinas virtuales con diferentes sistemas operativos y aplicaciones. Al poder disponer de varios servidores que forman parte de una única infraestructura virtual, en caso de que ocurriera un desastre, como pudiera ser la caída de un host físico, al estar en un entorno virtual, el redesplicue de las máquinas virtuales afectadas sería prácticamente inmediato; por lo tanto, también se reduce el tiempo de caída de las distintas aplicaciones.

### 2.2.1 Hipervisor

El Hipervisor es la capa de software que se encuentra entre el hardware y una o más máquinas virtuales, tal como se puede observar en la Figura 2-5. Es la que posibilita que varias máquinas virtuales compartan los mismos recursos físicos y que no interfieran entre ellas. Las 3 características de esta capa son:

- Proveer un entorno idéntico al entorno físico.
- Proveer ese entorno con un coste mínimo en el rendimiento.
- Mantener el control completo de los recursos del sistema.

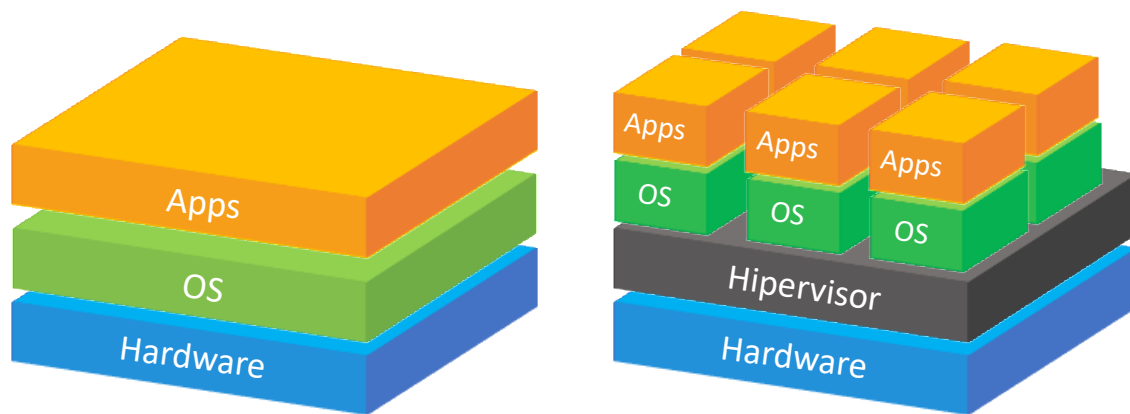


Figura 2-5 Arquitectura Tradicional (Izquierda) y Arquitectura Virtual (Derecha)

Existen dos clases de hipervisores, los de tipo 1 y los de tipo 2. Los hipervisores de tipo 1 se ejecutan directamente sobre el *hardware* sin un sistema operativo entre medias. Este tipo de implementaciones son conocidas como *bare-metal*. Como no hay intermediarios, los hipervisores de tipo 1 son capaces de comunicarse directamente con los recursos físicos haciéndolos mucho más eficientes que los de tipo 2. Estos últimos, son hipervisores que se ejecutan sobre un sistema operativo [12].

### 2.2.2 Máquina Virtual

Una máquina virtual (VM, *Virtual Machine*) es una representación de un ordenador físico. La máquina virtual soporta un sistema operativo y se configura con un conjunto de recursos que las aplicaciones que se están ejecutando en la máquina puede solicitar usar. Los principales archivos que componen una máquina virtual son los que forman el disco virtual y el archivo de configuración. Dicho archivo describe los recursos (CPU, RAM, Almacenamiento, adaptadores de red, etc.) que la máquina virtual puede utilizar. Un punto a destacar de las máquinas virtuales es que el sistema operativo que se ejecuta sobre ellas desconoce que está en un entorno virtualizado; desde el punto de vista del sistema operativo esa máquina virtual es idéntica a una máquina física.

### 2.2.3 Virtualización de Funciones de Red

Una función de red (NF, *Network Function*) es un bloque funcional dentro de una infraestructura de red, que tiene interfaces externas y un comportamiento bien definido [13]. La virtualización de funciones de red (NFV, *Network Function Virtualization*) es el desacoplamiento de las funciones de red de los dispositivos físicos propietarios y la ejecución como *software* dentro de las máquinas virtuales [14]. Como ejemplos de NFV encontramos desde Firewalls, pasando por enrutadores sin olvidarnos de las plataformas IP como son el Radius, DHCP, DNS.

Al desacoplar el *software* del *hardware* se consigue la flexibilidad necesaria para permitir ampliar o reducir los servicios, con el objetivo de abordar las demandas cambiantes de los clientes. Fruto de ese desacople, se consigue que el *hardware* y el *software* realicen distintas funciones en distintos tiempos, permitiendo que los operadores implementen nuevos servicios innovadores utilizando las mismas plataformas físicas.

A día de hoy, los operadores están saturados de una amplia variedad de dispositivos físicos propietarios. Normalmente, el lanzamiento de otro servicio de red requiere de nuevos

dispositivos. Estos dispositivos acarrear un mayor coste energético, una necesidad mayor de espacio, así como de personal cualificado para diseñar, integrar y operar dispositivos físicos cada vez más complejos. Aparte de todo esto, se debe añadir que los ciclos de vida de los equipos cada día son más cortos, a medida que la innovación tecnológica y de servicios se acelera. Por esto, el objetivo de las funciones de red virtuales es transformar la manera en la que los operadores diseñan, despliegan y operan sus redes; consiguiendo consolidar la mayor variedad de equipamiento de red sobre una misma infraestructura de propósito general, tal como se muestra en la Figura 2-6 [15].

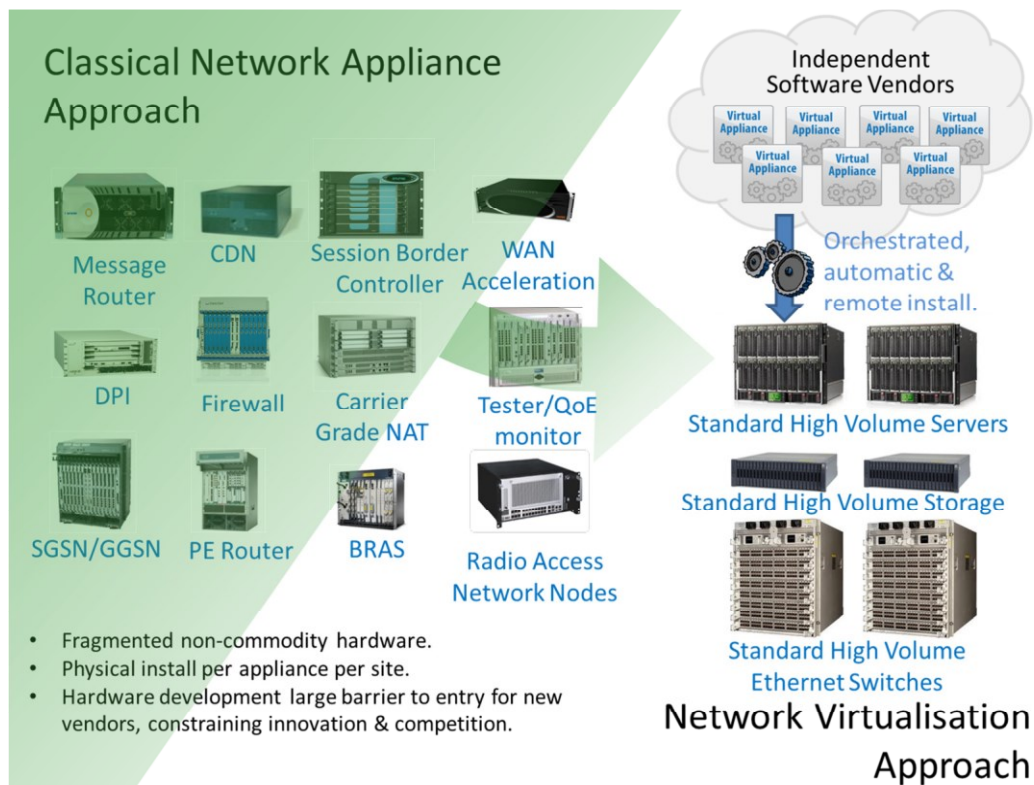


Figura 2-6 Visión de las funciones de red virtuales [15].

Las funciones de red virtuales tienen el potencial de reducir los costes asociados tanto a los equipos físicos así como al consumo energético, reducir el *time to market*, disponer de dispositivos de una gran variedad de vendedores, escalar el servicio según las necesidades. Por último, como el hardware es el mismo para todos los actores, se abre un mercado en el que pueden participar las pequeñas empresas, el mundo académico así como los proveedores de software puro, permitiendo así fomentar la innovación para brindar nuevos servicios que generarán nuevas fuentes de ingreso y todo esto con un riesgo asociado menor [15].

## 2.3 Infraestructura de Computación en la Nube

Como se ha visto anteriormente, es necesario una infraestructura de computación virtualizada, también conocida como *cloud*, donde se desplegarán los distintos servicios de red. Dentro de infraestructura virtualizada se pueden distinguir dos grandes grupos: Infraestructura pública e Infraestructura privada.

### 2.3.1 Infraestructura Pública

En la infraestructura pública, los recursos son propiedad de un proveedor de servicios que los administra y lo ofrece a través de Internet. Todo el *hardware*, *software* y componentes de la infraestructura son propiedad del proveedor. Estos recursos son compartidos por los distintos clientes que los alquilan [16]. Las ventajas de usar una infraestructura pública son los siguientes [17]:

- Al no ser necesario invertir en desplegar y operar una infraestructura no existe CapEx.
- Permite una gran escalabilidad y flexibilidad para hacer frente a demandas de recursos no planificados.
- Como el proveedor de la infraestructura es responsable de la gestión permite enfocarse en el negocio.
- Existe una gran variedad de precios dependiendo de los SLA que se ofrecen permitiendo opciones asequibles.

Como desventajas encontramos:

- El coste puede crecer exponencialmente en grandes corporaciones.
- Al no gestionar la infraestructura se produce una pérdida de seguridad.
- Como no se tiene ni control ni visibilidad dentro de la infraestructura puede que no se cumplan las necesidades acordadas.

Dentro de este tipo de infraestructura destacan, entre otros, Amazon Web Services (AWS), Google Cloud y Azure de Microsoft.

### 2.3.2 Infraestructura Privada

A diferencia de una infraestructura pública, la privada no es compartida por ninguna organización. Esta infraestructura se personaliza para cumplir con los requisitos únicos de negocio y seguridad de una organización. Al ser gestionada por la propia organización se consigue una seguridad personalizada que cumple con las regulaciones de la compañía; además, de una mejora en la eficiencia y rendimiento ya que es posible y verificable conseguir unos niveles de servicio elevados. Por último, como cualquier infraestructura virtual permite una gran flexibilidad. Las infraestructuras privadas requieren de una gran inversión y la escalabilidad depende de cómo se ha desplegado dicha infraestructura.

En la infraestructura privada destacan dos sistemas: Openstack, que es de código abierto y VMware vSphere que es propietario.

#### 2.3.2.1 Openstack

Openstack fue creado durante los primeros meses de 2010, Rackspace quería reescribir el código de la infraestructura que ejecutaba para ofrecer los servidores en la nube. Al mismo tiempo, Anso Labs, que era un contratista de la NASA había publicado en forma de beta un controlador de computación en la nube basado en Python. Esto formó la base de Openstack. La misión de Openstack es producir una plataforma de computación en la nube de código abierto, que sea fácil de usar, simple de implementar, interoperable entre implementaciones, funcione bien en todas las escalas y satisfaga las necesidades de los usuarios y operadores tanto de nubes públicas como privadas [18].

Openstack es un sistema operativo en la nube que controla grandes cantidades de recursos de cómputo, almacenamiento y de redes en un centro de datos, todos administrados y aprovisionados a través de APIs con mecanismos de autenticación comunes [19]. Está formado por distintos módulos que tienen varios servicios tal como se muestra en la Figura 2-7.

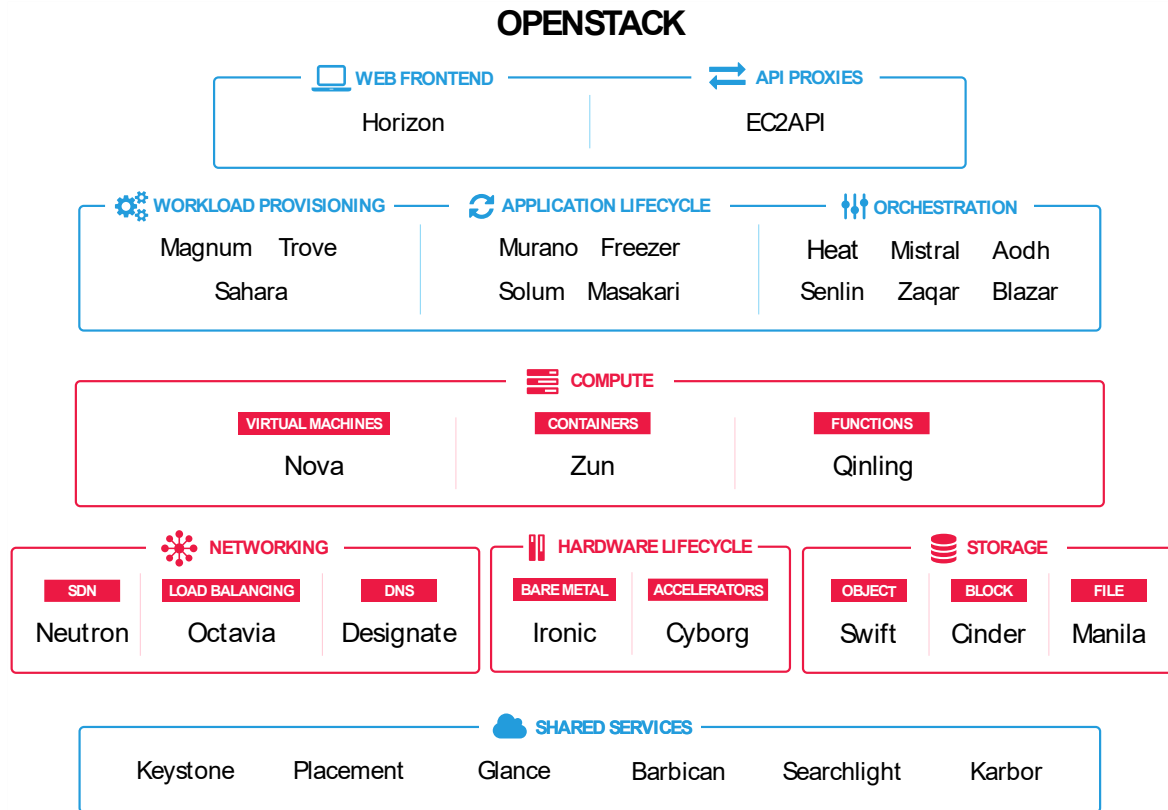


Figura 2-7 Componentes Openstack [20]

Los servicios necesarios para tener una mínima infraestructura virtual funcional son:

- *Keystone*: Proporciona autenticación de cliente mediante API, descubrimiento de servicios y autorización distribuida de múltiples clientes mediante la implementación de la API de identidad de Openstack. Centraliza la autenticación y autorización y administra usuarios, proyectos y roles [21].
- *Glance*: Descubre, registra y recupera imágenes de máquinas virtuales [22].
- *Nova*: Permite aprovisionar y gestionar las máquinas virtuales y los contenedores que se ejecutan en los distintos nodos de cómputo [23].
- *Cinder*: Es el servicio de almacenamiento de bloque para Openstack que virtualiza la gestión de dispositivos de almacenamiento de bloque y que proporciona a los usuarios finales una API de autoservicio para solicitar y consumir esos recursos sin necesidad de saber dónde se implementa realmente ese almacenamiento o sobre que dispositivo [24].
- *Neutron*: Provee conectividad de red como servicio entre interfaces de los distintos dispositivos gestionados por otros servicios, como puede ser Nova [25].
- *Horizon*: Proporciona una interfaz de usuario basada en web para manejar los servicios Openstack de forma visual [26].



### 2.3.2.2 VMWare

VMWare es un proveedor de *software* de virtualización y computación en la nube, que ofrece el producto VMWare vSphere, dicho producto es una plataforma de virtualización para construir infraestructuras de *cloud*. Dentro de los servicios de infraestructura que se muestran en la Figura 2-8, cabe destacar [27] :

- ESXi, que es el hipervisor que proporciona una sólida capa de virtualización probada para entornos de producción y de alto rendimiento. Como hemos comentado con anterioridad, el hipervisor permite que varias máquinas virtuales compartan recursos físicos.
- vSphere *Distributed Resource Scheduler* (DRS) proporciona balanceo de carga dinámico independiente del hardware y asignación de recursos para máquinas virtuales en clúster. Utiliza la automatización basada en políticas para reducir la complejidad de gestión y reforzar la compatibilidad con los acuerdos de nivel de servicio (SLA).
- VMware *Distributed Power Management* (DPM) automatiza el consumo eficiente de la energía en los clústeres de VMware DRS optimizando continuamente el consumo eléctrico de los servidores dentro de cada clúster.
- vSphere *vNetwork Distributed Switch* simplifica y optimiza la red de máquinas virtuales e incluso permite utilizar switches virtuales distribuidos de terceros.
- VMware Network I/O Control establece prioridades de calidad de servicio de red con el objetivo de garantizar el acceso a los recursos de red.

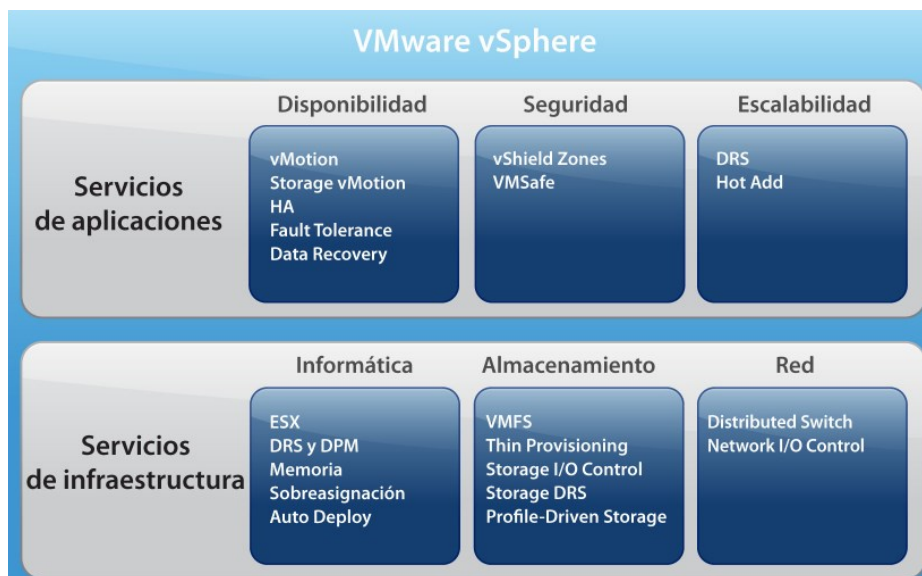


Figura 2-8 Componentes VMware vSphere [27].

## 2.4 Orquestadores

Puesto que la red física se desacopla de la infraestructura y los servicios de red, es necesario crear nuevas herramientas que permitan la gestión y la orquestación de las funciones de red virtualizadas, ya que dichas funciones pueden ser complejas debido a la interacción de varios componentes que podrían encontrarse distribuidos geográficamente y ser proporcionados por distintos proveedores [28]. La ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) ha definido la arquitectura NFV MANO para satisfacer estas nuevas necesidades.

### 2.4.1 MANO

Tal como podemos observar en la Figura 2-9, que representa la arquitectura NFV-MANO, tenemos una infraestructura para funciones de red virtualizadas (NFVI, *NFV Infrastructure*) que abstrae los recursos físicos ofreciendo recursos virtuales de cómputo, de almacenamiento y de red. El gestor de la infraestructura virtualizada (VIM, *Virtualised Infrastructure Manager*) es responsable de controlar y mapear los recursos de cómputo, almacenamiento y red de la NFVI. El gestor de VNF (VNFM, *VNF Manager*) es el responsable del ciclo de vida de las VNF, es decir, es responsable de: crear la VNF mediante su instanciación, aumentar o reducir la capacidad mediante el escalado, actualizar o eliminar la VNF liberando los recursos que se estaban utilizando en la NFVI. La implementación y el comportamiento de cada VNF es registrado en una plantilla llamada descriptor de función de red virtualizada (VNFD, *Virtualised Network Function Descriptor*) que es almacenado en el catálogo de VNF. Cada plantilla representa una VNF y describe tanto los atributos como los requisitos necesarios para implementarla. Los recursos de NFVI son asignados a la VNF basándose en los requisitos que contiene dicha plantilla siempre y cuando cumpla con las políticas y restricciones preestablecidas. El gestor de elementos (EM, *Element Management*) es responsable de la funcionalidad de gestión FCAPS (*Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security*) para una VNF, es decir, es responsable de la configuración de las funciones de red proporcionadas por la VNF, del manejo de los fallos de las funciones de red provistas, de la contabilización del uso de funciones VNF, de la recopilación de los resultados de medición de desempeño de las funciones proporcionadas por la VNF y de la gestión de la seguridad de dichas funciones. El orquestador (NFVO, *NFV Orchestrator*) tiene como objetivos principales la orquestación de recursos NFVI a través de múltiples gestores de infraestructura virtualizada (VIM, *Virtualised Infrastructure Manager*) y la gestión del ciclo de vida de los servicios de red (NS, *Network Service*) [29].

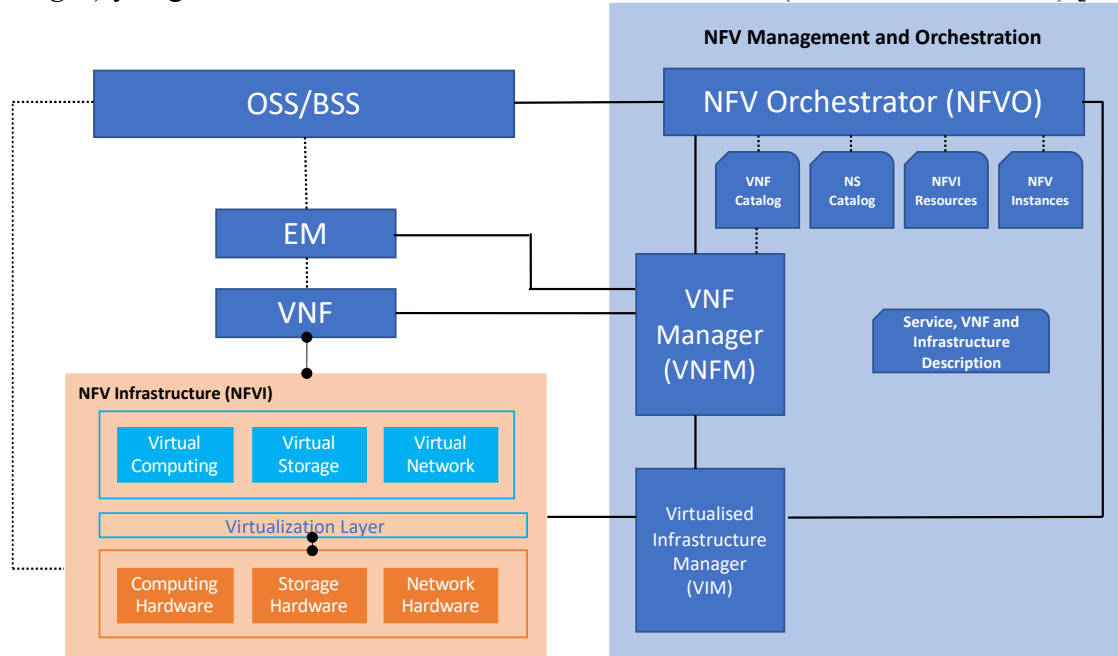


Figura 2-9 Arquitectura NFV-MANO. Basada en [29].

Un descriptor de servicio de red (NSD, *Network Service Descriptor*) es una plantilla que sirve para implementar un servicio de red que hace referencia a todos los demás descriptors que detallan los componentes que forma parte de dicho servicio.



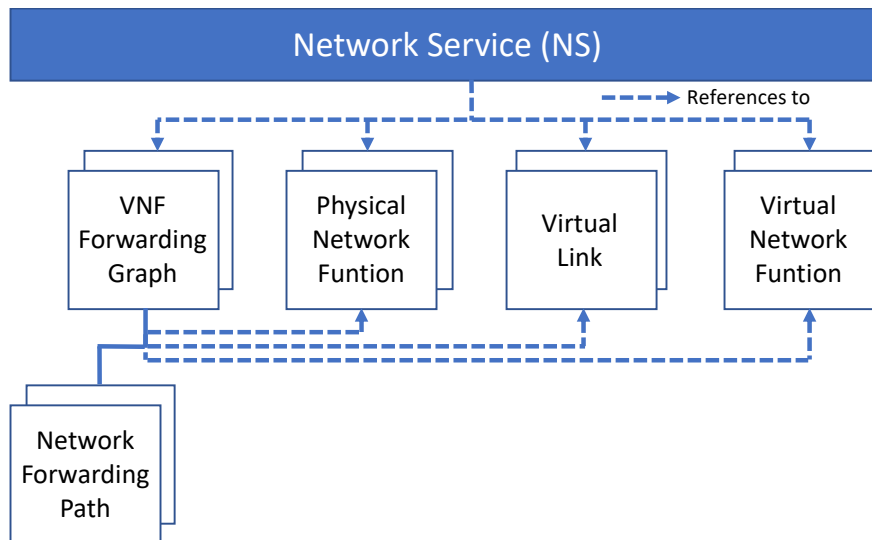


Figura 2-10 Elementos a alto nivel de un servicio de red

En la Figura 2-10 se puede ver que un servicio de red describe la relación entre las funciones de red y los enlaces que conecta todas las funciones de red implementadas sobre la NFVI. Estos enlaces interconectan las VNFs con los puntos de conexión que proveen una interfaz con una red existente. Los puntos de conexión permiten incluir una función de red física (PNF, *Physical Network Function*) para permitir la expansión y evolución de la red. Un enlace virtual (VL, *Virtual Link*) es un conjunto de puntos de conexión junto con la relación de conectividad entre ellos así como de las métricas de rendimiento asociadas. Una ruta de reenvío de red (NFP, *Network Forwarding Path*) es una lista ordenada de puntos de conexión que forman parte de una cadena de NF, junto con políticas asociadas a dicha lista, es decir, muestra la ruta de los flujos de tráfico reales en los enlaces virtuales [30].

Un VNFFG (*VNF Forwarding Graph*) contiene referencias a los enlaces virtuales, a las funciones de red virtuales, a las funciones de red físicas así como a los NFP [29].

Para comprender mejor estos conceptos vamos a utilizar la Figura 2-11 a modo de ejemplo. En esta figura se puede observar un servicio de red compuesto por tres funciones de red virtuales que tienen diferentes puntos de conexión (CP, *Connection Point*) y que están conectados a través de varios enlaces virtuales (VL, *Virtual Link*). En ese servicio de red se pueden distinguir dos VNFFG: VNFFG1, que está formado por dos NFP (VNFFG1:NFP1 y VNFFG1:NFP2) y VNFG2, formado por un solo NFP (VNFFG2:NFP1). El VNFFG1:NFP1 es la ruta de reenvío que debe pasar por las VNF 1, 2 y 3, y utilizar los enlaces virtuales 1, 2 y 4. El VNFFG1:NFP2 pasa por las VNF 1 y 3, y utiliza los enlaces virtuales 1, 2 y 4. Adicionalmente, tenemos que VNFFG2:NFP2 debe pasar por las VNF 1 y 3 utilizando los enlaces virtuales 1, 2 y 4. Por último podemos observar cómo todos los flujos de tráfico entran o salen del servicio de red a través de los puntos de conexión CP01 y CP02.

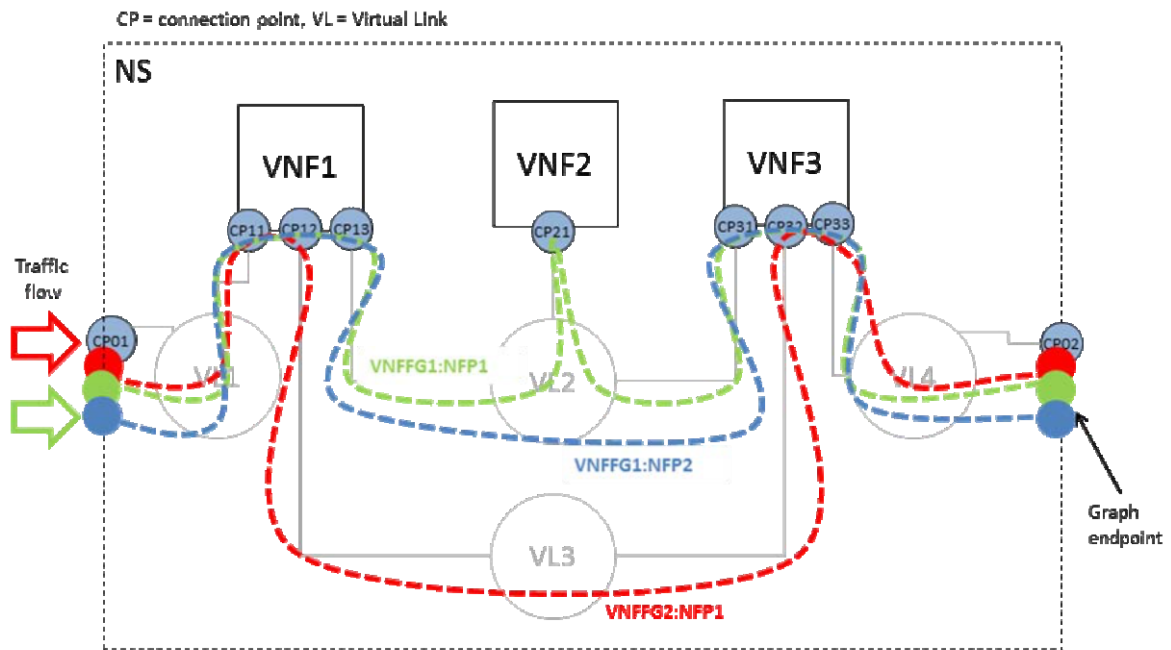


Figura 2-11 Ejemplo de Servicio de red [29].

Tras revisar la arquitectura NFV-MANO nos vamos a centrar en una implementación real, ese es el caso de Open Source MANO (OS MANO).

## 2.4.2 OS MANO

Open Source MANO (OSM) es una plataforma de código abierto soportada por ETSI que ofrece una pila MANO de calidad para funciones de red virtuales, capaz de consumir modelos de información publicados abiertamente, disponibles para todos, adecuados para cualquier tipo de funciones de red virtuales y todo esto con independencia del gestor de infraestructura virtual que controla la infraestructura virtual, donde se ejecutarán las distintas funciones de red virtuales [31].

La Figura 2-12 ilustra la interacción entre OSM, que es el orquestador, y las funciones de red virtuales, así como los distintos gestores de infraestructura virtual. OSM habla con el gestor de la infraestructura virtual para desplegar las distintas funciones de red virtuales, así como los enlaces virtuales. Tras el despliegue, OSM puede hablar con las funciones de red virtual para ejecutar configuraciones básicas de los instantes de tiempo conocidos como *día 0* (configuración de administración durante la instanciación), *día 1* (inicialización del servicio inmediatamente después de la instanciación) y *día 2* (reconfiguración durante el tiempo de ejecución). Para conseguir desplegar funciones de red virtuales es necesario que el orquestador pueda alcanzar la API del gestor de infraestructura virtual y para comunicarse con las distintas VNF es necesario que la red de gestión en la infraestructura virtual sea alcanzable por el orquestador [31].

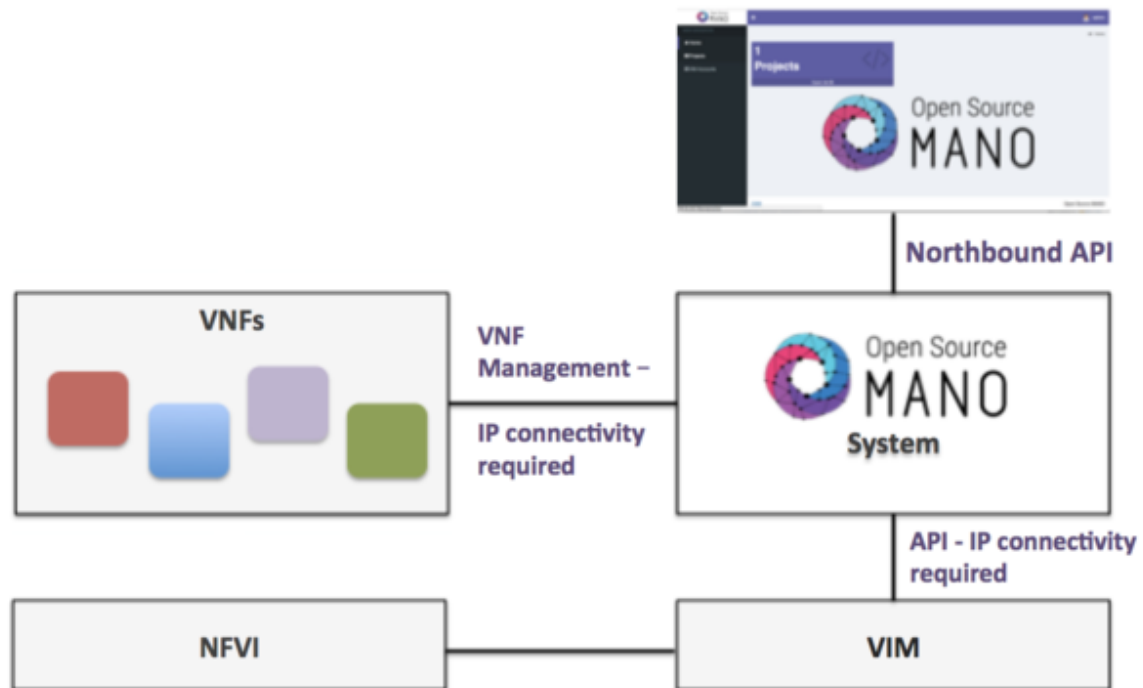


Figura 2-12 Comunicación OSM con VIM y VNF [32].

### 2.4.3 Computación en la nube vs Arquitectura NFV

Tras ver tanto los conceptos de una infraestructura y la arquitectura NFV-MANO, vamos a centrarnos en la relación entre el modelo de servicio que ofrece la computación en la nube con los distintos componentes de la arquitectura NFV.

Los principales modelos de servicio en la computación en la nube son:

- Software como servicio (SaaS, *Software as a Service*), donde el usuario puede utilizar aplicaciones y servicios que se ejecutan en la nube.
- Plataforma como servicio (PaaS, *Platform as a Service*), permite a los clientes desarrollar, ejecutar y gestionar distintas aplicaciones sin ocuparse de la complejidad de construir y gestionar una infraestructura en la nube.
- Infraestructura como servicio (IaaS, *Infrastructure as a Service*), proporciona modelos de autoservicio para acceder, supervisar y gestionar infraestructuras de centro de datos remotos, como son servicios de computación, almacenamiento y redes.

Tal como se muestra en la Figura 2-13 la equivalencia de una NFVI, que como hemos hablado anteriormente es la infraestructura para funciones de red virtuales, corresponde con el modelo de servicios conocido como IaaS. Las NFV, funciones de red virtuales, correspondería con el modelo ser servicio SaaS [5].

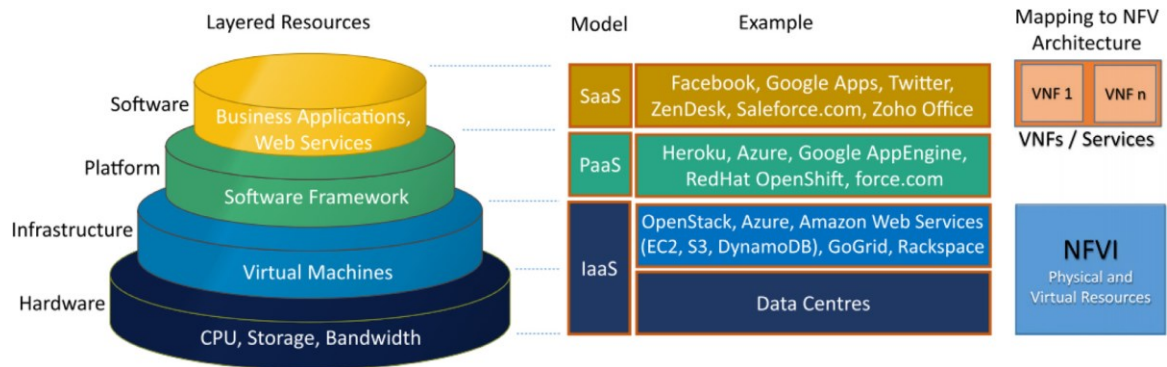


Figura 2-13 Relación modelo servicios nube y arquitectura NFV [5]

## 2.5 Marco de Análisis de Costes de Despliegue

El despliegue de funciones de red virtuales se plantea como una reducción de las inversiones (CapEx, *Capital Expenditure*) y los costes operativos (OpEx, *Operational expenditures*) respecto a las redes tradicionales. La reducción del CapEx será gracias al desacoplamiento de las funciones de red de los dispositivos físicos propietarios. Se utilizarán infraestructuras virtualizadas sobre las que se permitan desplegar varias funciones de red virtualizadas optimizando el uso de recursos a la vez que permitiendo una mayor flexibilidad. Para justificar la reducción de CapEx respecto a un despliegue tradicional se va a analizar tres casos de prueba, que se muestran en las Figuras 2-14 a 2-16: El primero tiene dos redes privadas y una instancia VNF, el segundo tiene tres redes privadas y dos instancias VNF, el tercer caso tiene dos redes privadas conectadas a un enrutador [32].

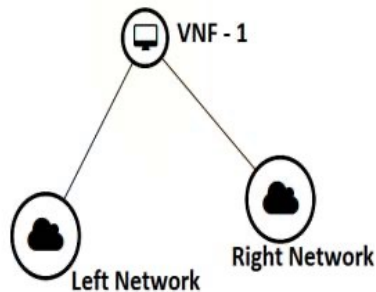


Figura 2-14 Caso de Prueba 1 [32]

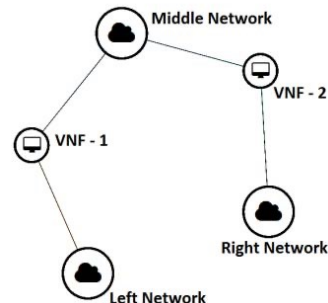


Figura 2-15 Caso de Prueba 2 [32]

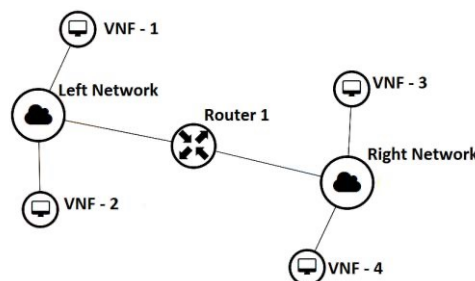


Figura 2-16 Caso de Prueba 3 [32]

Los costes asociados a una implementación tradicional se recogen en la Tabla 2-1 y los asociados a los recursos para la implementación de las funciones de red virtuales se muestran en la Tabla 2-2. Los costes en Euros han sido calculados a partir de los costes en rupias indias

recogidos en el trabajo [32] y el valor de cambio rupia india a euro (0,014 €) en 2016, fecha en la que se publicó dicho trabajo.

*Tabla 2-1 Coste de los recursos en una implementación tradicional. Basado en [32].*

<b>Recurso</b>	<b>Coste</b>
RAM	13,72 €
Procesador	119 €
Placa Base	88,2 €
HDD	13,16 €
Cables	4,48 €
Switches	9,66 €
L2/L3 Switches	161 €

*Tabla 2-2 Coste de los recursos de una implementación NFV. Basado en [32].*

<b>Recurso</b>	<b>Coste</b>
RAM	36,4 €
Procesador	317,1 €
Placa Base	78,4 €
HDD	13,16 €

El CapEx requerido por cada caso de prueba está incluido en la Tabla 2-3. Se puede observar que los recursos necesarios en la implementación física van aumentando a medida que los dispositivos de red de los casos de uso van aumentando. En el caso de la implementación de NFV los costes se mantienen igual, ya que los tres casos de uso se implementan sobre el mismo hardware. Al utilizar hardware de propósito general, el coste de los recursos es menor que en el caso de hardware específico para cada función de red. Además, al ser recursos virtualizados se pueden reutilizar para implementar otras funciones de red virtuales.

*Tabla 2-3 CAPEX de cada caso de uso. Basado en [32].*

	<b>CAPEX</b>	
	<b>Implementación Física</b>	<b>Implementación NFV</b>
<b>Caso de Uso 1</b>	262,36 €	445,06 €
<b>Caso de Uso 2</b>	515,06 €	445,06 €
<b>Caso de Uso 3</b>	1.116,64 €	445,06 €

Para el caso de OPEX, se considera una unidad el coste de mantenimiento anual (AMC, *annual maintenance cost*) por mes de 0,14 €/mes (1,68€/año) y el consumo de energía de 10 KWh. El espacio requerido se considera 1 unidad por cada recurso consumido [32]. La Tabla 2-4 sigue la misma tendencia que la que se refería al CapEx: cuando el número de dispositivos aumenta, el coste operativo del sistema aumenta. En el caso de la implementación NFV se mantienen constantes, ya que todo se despliega sobre la misma infraestructura virtual, optimizando el uso de recursos y el consumo energético y de espacio.

Tabla 2-4 OPEX de cada caso de uso. Basado en [32].

	OPEX (Unidades AMC)	
	Implementación Física	Implementación NFV
<b>Caso de Uso 1</b>	21,6	30,4
<b>Caso de Uso 2</b>	40,1	30,4
<b>Caso de Uso 3</b>	92,2	30,4

A medida que los escenarios sean más complejos, y por tanto requieran de más dispositivos físicos, la reducción de Capex y Opex, a favor de la implementación de NFV, será más evidente.

## 2.6 Conclusiones

En este capítulo se ha repasado los conceptos importantes necesarios para entender este proyecto, se ha estudiado los pilares sobre los que se sostienen las redes 5G, que son las redes definidas por software y las funciones de red virtuales. Como el 5G trae consigo las funciones de red virtuales, se ha profundizado en los conceptos más importantes de la virtualización como son el hipervisor, la máquina virtual, así como el propio concepto de función de red virtual. Dado que estas funciones de red se deben desplegar sobre una infraestructura, hemos revisado a alto nivel los tipos de infraestructuras virtuales y los productos para poder desplegarlas. Por último, hemos analizado la necesidad y el concepto de orquestador explicando la arquitectura NFV-MANO y la solución que implementa esta arquitectura, que es de código abierto y se llama OS MANO. También hemos analizado la reducción en CapEx y OpEx que implicarán los despliegues NFV frente a los despliegues tradicionales físicos fruto del desacoplamiento de las funciones de red de los dispositivos físicos propietarios. En los siguientes capítulos profundizaremos en el diseño de dichas funciones de red, así como en su despliegue y la realización de diversas pruebas para verificar el correcto funcionamiento de estos despliegues.

## 3 Análisis

En este capítulo se describirá el análisis que justifica los casos de uso que se diseñarán e implementarán en este TFM. Primero nos centraremos sobre una Red virtual como caso de uso de *Network Slicing*, y seguiremos con una red de distribución de contenidos que estaría dentro del caso de uso MEC.

### 3.1 Red Virtual

Tal como se ha explicado en el capítulo 2, una *Slice* es una red lógica que se ejecuta sobre una infraestructura común, ya sea física o virtual, mutuamente aislada con control y gestión independiente, que puede ser creada a demanda [9]. Para la implementación de este caso de uso vamos a estudiar la posibilidad de desplegar una red existente de manera virtual. Dada la complejidad de las redes de hoy en día, vamos a acotar el despliegue de dicha red a un conjunto de enrutadores virtuales, que serían las funciones de red virtuales, y una serie de redes virtuales que permitan la comunicación entre los distintos enrutadores. El despliegue de dicha red deberá ser automática, ya que las redes de última generación requieren tanto de la virtualización como de la automatización, debido a su complejidad y a la necesidad de operarlas y mantenerlas de manera eficiente. Con el objetivo de asemejarse a una implementación real deberá desplegarse al menos en dos puntos de presencia, conocidos como POP (*Point of Presence*) para verificar que las redes desplegadas en dos POP distintos se pueden comunicar entre ellas. Como hemos comentado, el despliegue debe ser automático y no requerir de un operador para configurar las distintas funciones de red virtuales que componen dicho servicio de red, por lo que se va a utilizar el protocolo OSPF para el enrutamiento dinámico dentro de esta red que consideraremos un sistema autónomo.

En las pruebas, que se realizarán en el Capítulo 6.1, se deberá poder ejecutar *Ping* entre distintas máquinas para verificar que toda la red está correctamente configurada, así como mediante la herramienta *traceroute* verificar las distintas rutas dentro de dicha red.

### 3.2 Red de Distribución de Contenidos

El concepto MEC consiste en acercar las capacidades de computación en la nube a las redes de acceso, que se encuentran próximas al usuario final, permitiendo así reducir la latencia por debajo de 1 ms [4]. Desplegando servidores en localizaciones estratégicas se consigue que los proveedores de red de distribución de contenidos (CDN, *Content Delivery Network*) pueden asignar a los usuarios el servidor más cercano, evitando latencia y congestiones, si se despliegan miles de servidores en el borde de la red se garantiza la escalabilidad y fiabilidad en la solución. Para esto, la mejor opción es la colaboración entre los proveedores de CDN y el proveedor de servicios de Internet (ISP, *Internet Service Provider*), teniendo una infraestructura virtualizada capaz de alinear la oferta de conectividad del ISP con las demandas de conectividad de los CDN, consiguiendo un beneficio mutuo. Para conseguirlo es necesario desplegar una plataforma NFV en la red ISP capaz de albergar servicios como un CDN virtual (vCDN), servicio descrito en la Figura 3-1 [33].



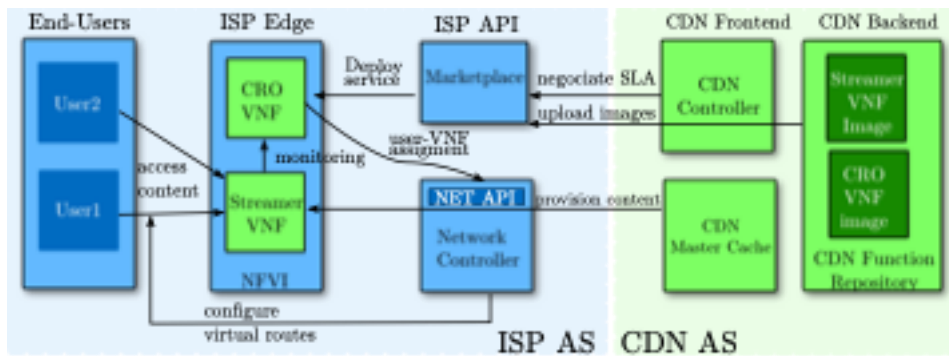


Figura 3-1 Colaboración ISP y CDN [33].

Estas plataformas se distribuyen a través de varios puntos de presencia de la infraestructura NFV (NFVI-POP) en el borde de la red, tal como se muestra en la Figura 3-2. El módulo *Streaming* VNF es el encargado de almacenar y entregar el contenido al usuario final. Dada la escalabilidad de la plataforma NFV, los recursos utilizados por este módulo pueden ser aumentados o reducidos dependiendo de la demanda y, puesto que están en el borde de la red, el tráfico por los *peering* se verá reducido [33].

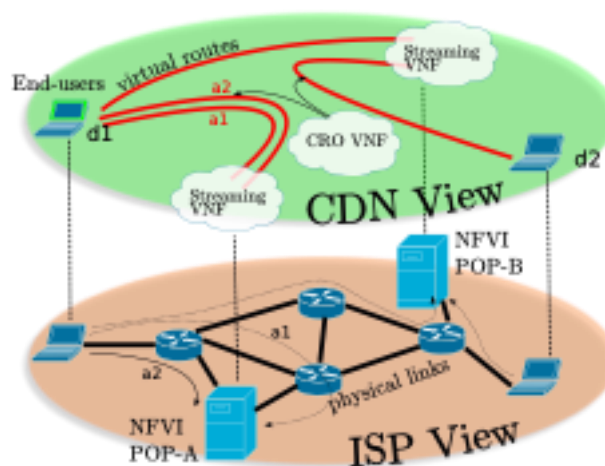


Figura 3-2 Arquitectura virtualizada de un ISP [33].

En nuestro caso de uso desplegaremos un sistema de vídeo compuesto por tres VNFs principales:

- VideoServer: Será el servidor de vídeo donde se podrán ver y descargar distintos contenidos de vídeo.
- CDNServer: Es el servidor de distribución de contenidos para que los usuarios que no se encuentren cerca del servidor de vídeo puedan disfrutar de una menor latencia, mayor rendimiento y por ende, una mejora en la calidad del servicio.
- DNSServer: Es el servidor DNS que utilizan todos los clientes de la red, independientemente de su localización.

Este despliegue deberá contar con un servidor de vídeo, un servidor DNS y dos servidores de distribución de contenidos. Para lograr que cada cliente vaya al servidor más cercano utilizaremos el servidor DNS, que ofrecerá la IP del servidor de vídeo más cercano en su respuesta a la consulta DNS realizada por el cliente, según la localización de dicho cliente.



Es decir, según la red desde donde se haga la consulta, el DNS resolverá el dominio hacia la dirección IP del servidor de vídeo o CDN más cercano.

Para considerar este despliegue válido será necesario verificar que cada cliente, dependiendo de dónde se encuentre, acceda al servidor de vídeo más cercano. También, será necesario unas pruebas en las que se compare el rendimiento de solicitar el vídeo al servidor original frente a solicitarlo al más cercano. Estas pruebas se recogen en el Capítulo 6.3 y deberán de reflejar una mejora de rendimiento al solicitar el vídeo al servidor CDN más cercano frente a solicitarlo al servidor de vídeo original.

### 3.3 Conclusiones

En este capítulo hemos visto las características y requisitos que deben cumplir tanto del caso de uso de *Network Slicing*, que será desplegando una red virtual, como el caso MEC, desplegando una red de distribución de contenidos sobre una plataforma virtualizada. Una vez que hemos definido las características y requisitos principales de los dos casos de uso, seguiremos en el Capítulo 4 diseñando las distintas redes que utilizarán dichos casos de uso. Para después, en el Capítulo 5 construir el entorno, compuesto por dos infraestructuras virtuales y un orquestador, que se utilizará para el despliegue de los dos servicios de red.

## 4 Diseño

En el capítulo de diseño nos vamos a centrar en las redes, ya que son una parte fundamental en el despliegue de estos dos servicios de red. También, profundizaremos en el protocolo OSPF que permitirá que las dos redes desplegadas funcionen con enrutamiento dinámico. Por último, hablaremos de la resolución DNS por localización que es fundamental en la red de distribución de contenidos, ya que es la que nos permitirá que los clientes accedan al servidor de vídeo más cercano. Como se podrá observar, en este capítulo no se habla de funciones de red virtuales, ya que el diseño de las distintas redes y su direccionamiento es el mismo tanto en un entorno físico como en uno virtual.

### 4.1 Red Virtual

Para el caso de uso de una red virtual nos hemos basado en la RedIris, concretamente la parte peninsular de la RedIris 10 que se muestran en la Figura 4-1. En nuestro diseño hemos incluido todos los enrutadores de la parte peninsular y hemos consolidado el enrutador denominado como Nacional con el de Madrid.

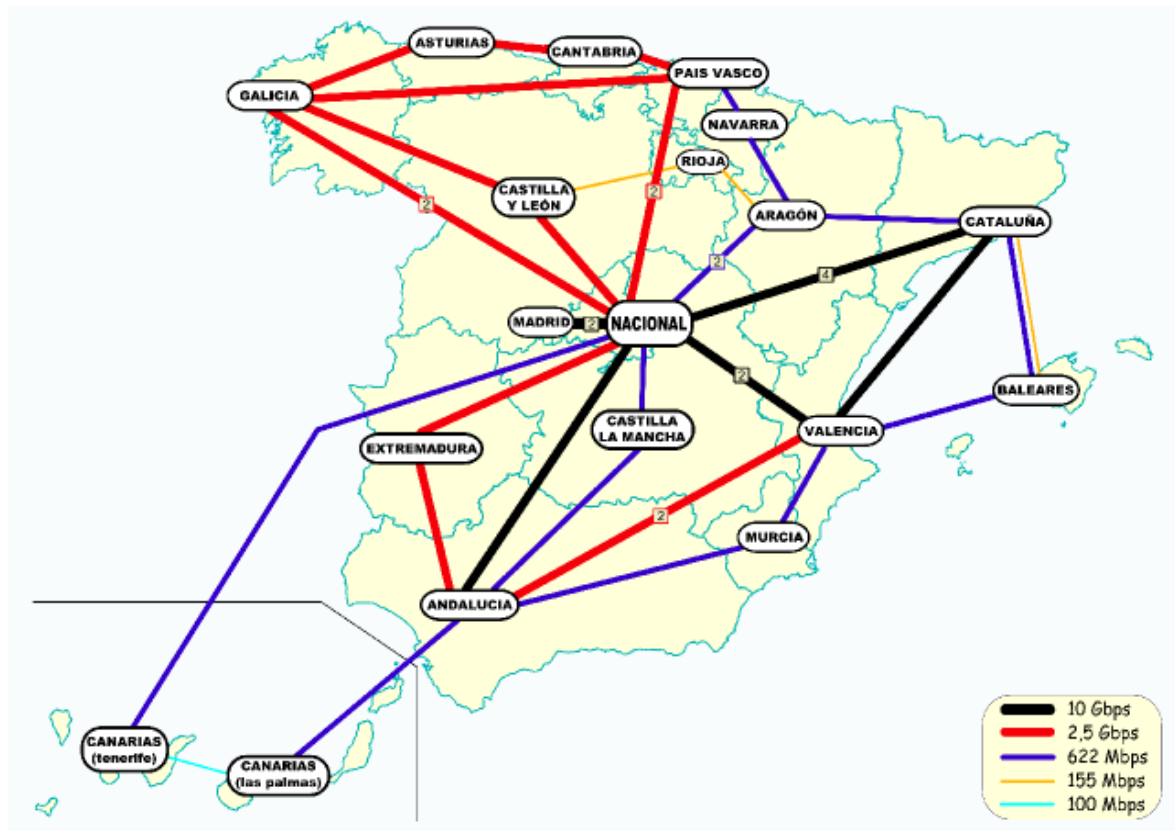


Figura 4-1 Diagrama RedIRIS-10

En un caso real, cada comunidad autónoma tendría un punto de presencia virtual en el que se desplegarían las distintas funciones de red virtuales, que son los enrutadores virtuales (vRouter). No obstante, con el objetivo de simplificar la implementación, se ha decidido diseñar la red sobre dos puntos de presencia, uno llamado zona norte y otro llamado zona sur. Por lo tanto, todos los enrutadores desplegados sobre la misma zona no requerirán de conectividad externa a la que provee la propia plataforma de virtualización, pero la

comunicación entre los dos puntos de presencia se hará a través de un enlace dedicado a la comunicación entre estos.

La red que se va a desplegar se detalla en la Figura 4-2, donde se puede ver tanto el direccionamiento para las conexiones punto a punto entre los distintos enrutadores así como el direccionamiento que puede usar cada comunidad autónoma.

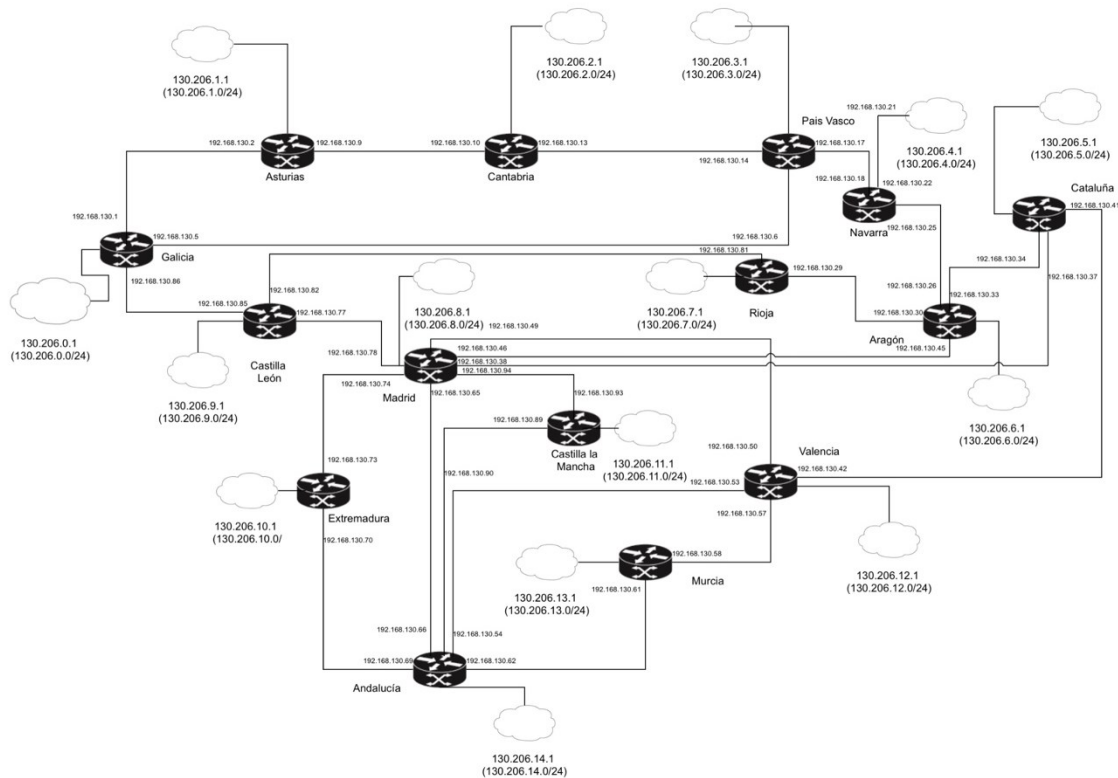


Figura 4-2 Diagrama de Red del caso de uso de Red Virtual

El direccionamiento elegido para las conexiones punto a punto es direccionamiento perteneciente al rango 192.168.130.0/24 y los rangos de las comunidades autónomas pertenecen al rango 130.206.0.0/16 delegado a RedIRIS. En la Tabla 4-1 se recoge el direccionamiento para la comunicación entre enrutadores así como el nombre de las redes y si estas redes son externas, es decir, si deben comunicarse entre puntos de presencia.

Tabla 4-1 Direccionamiento para comunicación punto a punto entre enrutadores

Nombre	Rango	Externa
inter Galicia Asturias	192.168.130.0/30	NO
inter Galicia PaísVasco	192.168.130.4/30	NO
inter Asturias Cantabria	192.168.130.8/30	NO
inter Cantabria PaísVasco	192.168.130.12/30	NO
inter PaísVasco Navarra	192.168.130.16/30	NO
inter Navarra Aragon	192.168.130.24/30	NO
inter Aragon Rioja	192.168.130.28/30	NO
inter Aragon Catalunya	192.168.130.32/30	NO
inter Catalunya Madrid	192.168.130.36/30	SÍ
inter Catalunya Valencia	192.168.130.40/30	SÍ
inter Aragon Madrid	192.168.130.44/30	SÍ

inter_Valencia_Madrid	192.168.130.48/30	NO
inter_Valencia_Andalucia	192.168.130.52/30	NO
inter_Valencia_Murcia	192.168.130.56/30	NO
inter_Murcia_Andalucia	192.168.130.60/30	NO
inter_Andalucia_Madrid	192.168.130.64/30	NO
inter_Extremadura_Andalucia	192.168.130.68/30	NO
inter_Extremadura_Madrid	192.168.130.72/30	NO
inter_CastillaLeon_Madrid	192.168.130.76/30	SÍ
inter_Rioja_CastillaLeon	192.168.130.80/30	NO
inter_Galicia_CastillaLeon	192.168.130.84/30	NO
inter_CastillaMancha_Andalucia	192.168.130.88/30	NO
inter_CastillaMancha_Madrid	192.168.130.92/30	NO

Los rangos delegados a cada comunidad se recogen en la Tabla 4-2:

*Tabla 4-2 Redes delegadas a cada comunidad*

Nombre	Rango
red_galicia	130.206.0.1/24
red_asturias	130.206.1.1/24
red_cantabria	130.206.2.1/24
red_paisvasco	130.206.3.1/24
red_navarra	130.206.4.1/24
red_catalunia	130.206.5.1/24
red_aragon	130.206.6.1/24
red_rioja	130.206.7.1/24
red_madrid	130.206.8.1/24
red_castillaleon	130.206.9.1/24
red_extremadura	130.206.10.1/24
red_castillamancha	130.206.11.1/24
red_valencia	130.206.12.1/24
red_murcia	130.206.13.1/24
red_andalucia	130.206.14.1/24

Como se ha comentado anteriormente la red virtual se desplegará sobre dos puntos de presencia denominados zona norte y zona sur. En la zona norte se desplegará los siguientes enrutadores, tal como se muestra en la Figura 4-3:

- Galicia
- Asturias
- Cantabria
- País Vasco
- La Rioja
- Navarra
- Cataluña
- Aragón
- Castilla y León

En las dos figuras siguientes se puede observar unos enlaces de color rojo, esto indica que estos enlaces requieren salir del punto de presencia para comunicarse con la otra zona.

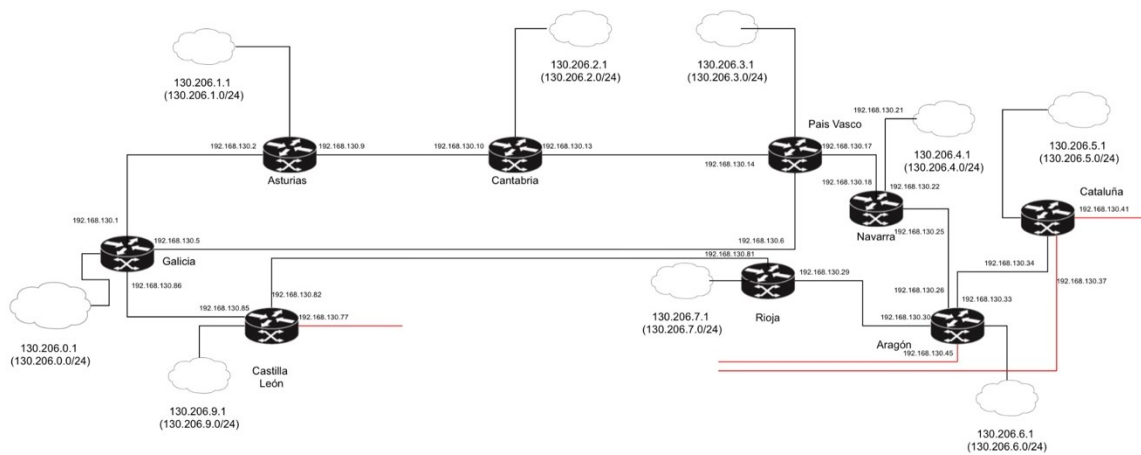


Figura 4-3 Diagrama de Red Zona Norte

En la Figura 4-4 podemos ver los enrutadores pertenecientes a la zona sur, que son:

- Madrid
- Castilla La Mancha
- Extremadura
- Valencia
- Murcia
- Andalucía

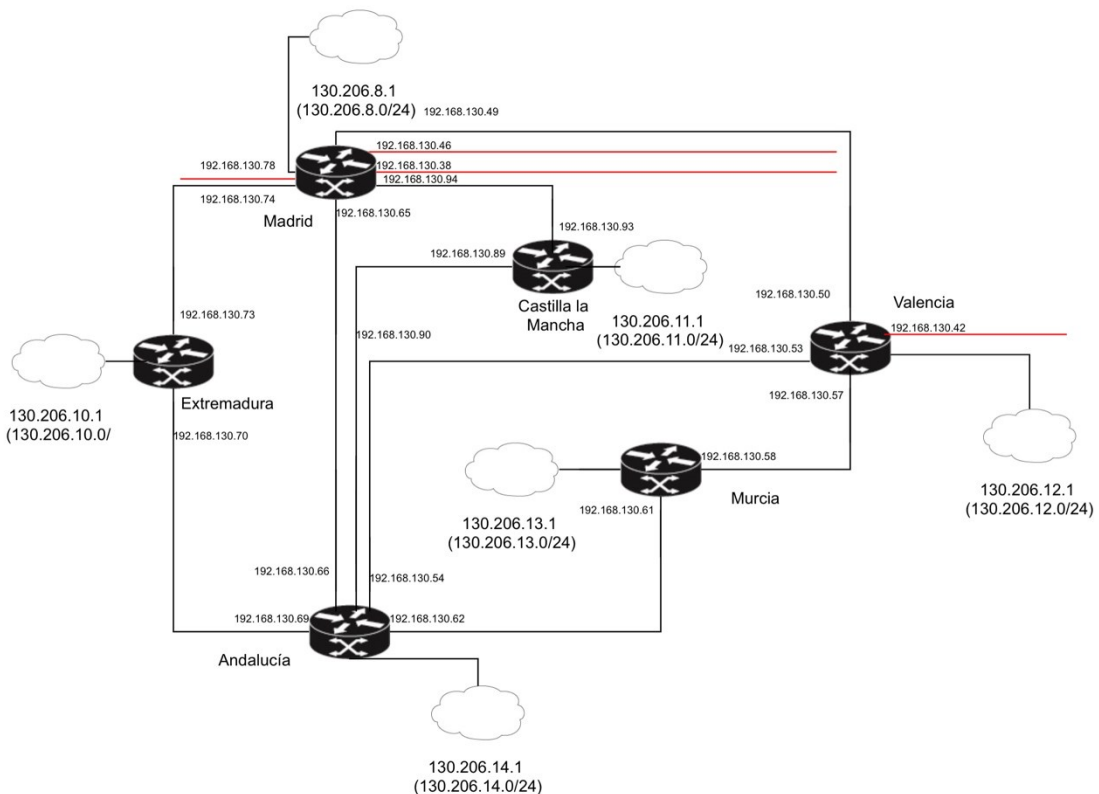


Figura 4-4 Diagrama de Red Zona Sur

Como consideramos que toda esta red virtual se corresponde con un mismo sistema autónomo, usaremos OSPF para el enrutamiento dinámico dentro ella, es decir, como protocolo IGP (*Interior Gateway Protocol*) dentro del sistema autónomo usaremos OSPF. OSPF enruta los paquetes basándose exclusivamente en la dirección IP destino que se encuentra en la cabecera del paquete IP, los paquetes no son encapsulados en ningún otro protocolo. Al ser un protocolo de enrutamiento de estado de enlace cada enrutador mantiene una base de datos que describe la topología del sistema autónomo y que está referenciada a la base de datos de estado de enlace. OSPF permite que una colección de redes y host contiguos, junto con los enrutadores que tienen interfaces es esas redes se agrupen en lo que se denomina área [34]. En nuestro caso solo existirá el área 0 para que todos los enrutadores pertenecientes a dicha red puedan conocer todo el direccionamiento en su tabla de rutas.

El coste en OSPF es inversamente proporcional al ancho de banda de la interfaz, que en nuestro despliegue es de 1Gbps. Es decir, a mayor ancho de banda menor coste. Este valor se calcula dividiendo el ancho de banda de referencia entre el ancho de banda de la interfaz en *bits* por segundo. OSPF utiliza SPT (*Shortest Path Tree*) donde el enrutador es la raíz del árbol y las redes destino son las hojas, el algoritmo SPT calcula el coste entre la raíz y las redes destino; el que tenga el coste acumulado, que se obtiene como la suma de los costes de todas las interfaces de salida de la ruta, entre ellos será la ruta elegida. Por ejemplo, en la Figura 4-5 podemos ver cuatro enrutadores con los costes asociados a cada interfaz y como SPT calculará los costes entre el enrutador R1, que será la raíz y las distintas redes destino.

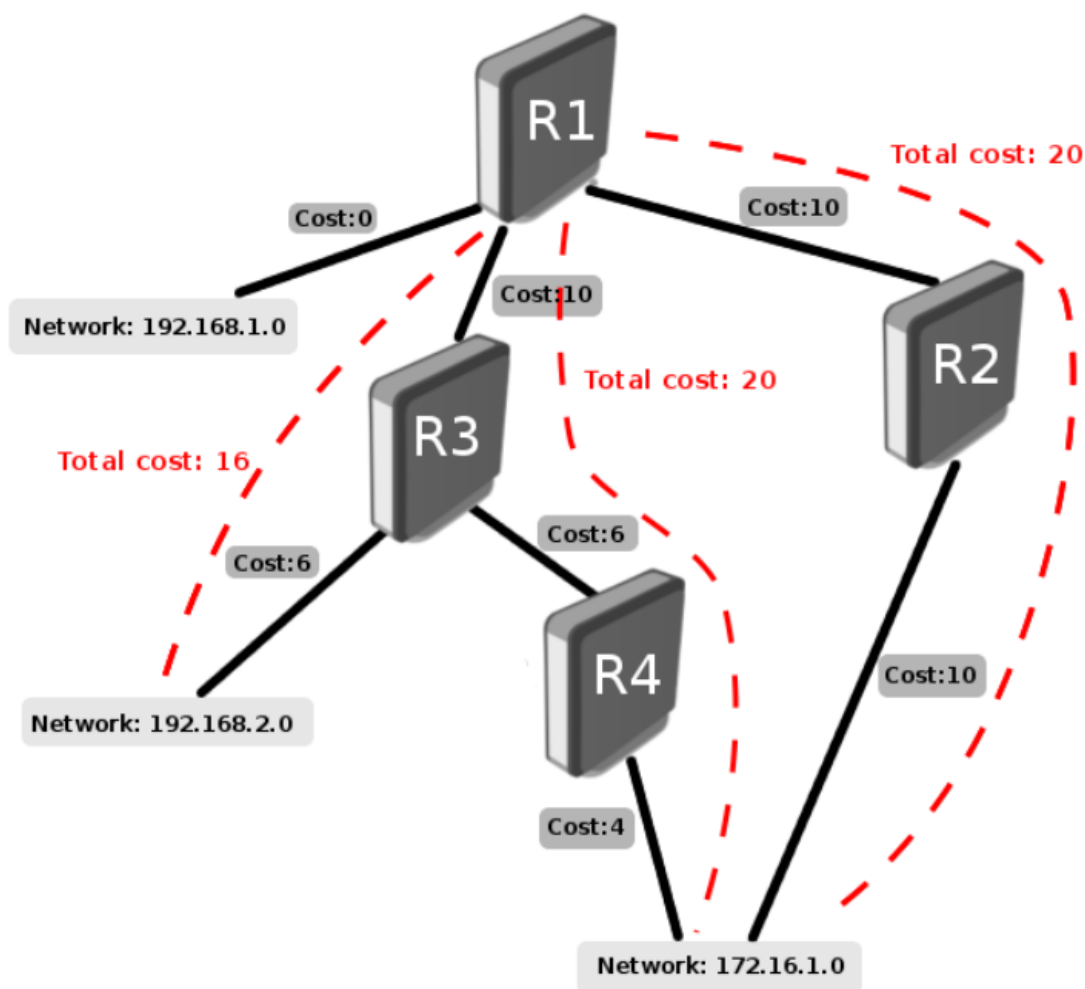


Figura 4-5 Ejemplo cálculo de costes de rutas [35].

Para alcanzar la red 172.16.1.0 desde el enrutador R1 podemos observar que el coste acumulado de las rutas que permiten llegar a esa red es el mismo [35]. Al tener múltiples rutas de igual coste (ECMP, *Equal-Cost Multipath*) permite el balanceo del tráfico. Aún así, el protocolo especifica que no es necesario que un enrutador realice un seguimiento de todas las rutas posibles de igual coste a un destino y se puede optar por mantener solo un número fijo de rutas.

Tras revisar el diseño de la red virtual, puede surgir la duda de dónde se encuentra la interfaz de gestión de dichos equipos. Para hacerlo lo más similar a la realidad se ha preferido no conectar una misma red a todos los enrutadores, por lo que en este caso se puede considerar como dirección de gestión de los equipos la primera dirección IP del rango delegado a cada Comunidad Autónoma.

## 4.2 Red de Distribución de Contenidos

La red de distribución de contenidos se encargará de ofrecer vídeos a los usuarios desde el servidor más cercano a su localización. En este caso de uso se va a desplegar, al igual que en la red virtual, sobre dos puntos de presencia: la zona norte y la zona sur. La zona sur

albergará los enrutadores de Madrid y Andalucía; en la zona norte estará el enrutador de Cataluña. Se ha simplificado la topología respecto al caso anterior para centrarnos en las funciones de red específicas de este caso de uso.

En la red delegada para Madrid se desplegará el servidor de vídeo, que será el origen de los vídeos que se pueden ver en esta red y el servidor de DNS. En las redes de Andalucía y Cataluña se desplegarán servidores CDN que permitirán a los usuarios de esas zonas disponer de los vídeos sin necesidad de ir al servidor de vídeo situado en Madrid siempre que esté almacenado en estos servidores, consiguiendo mejorar la experiencia de usuario a la vez que evitamos la saturación de las redes.

Las redes utilizadas para las conexiones punto entre los enrutadores se detallan en la Tabla 4-3 y el direccionamiento delegado para cada comunidad se detalla en la Tabla 4-4 y corresponde al mismo direccionamiento utilizado para el despliegue de la red virtual.

*Tabla 4-3 Rangos Conexión Punto a Punto para red CDN*

<b>Nombre</b>	<b>Rango</b>	<b>Externa</b>
inter_Galicia_Asturias	192.168.130.0/30	NO
inter_Galicia_PaisVasco	192.168.130.4/30	NO
inter_Asturias_Cantabria	192.168.130.8/30	NO
inter_Cantabria_PaisVasco	192.168.130.12/30	NO

*Tabla 4-4 Redes para cada comunidad*

<b>Nombre</b>	<b>Rango</b>
red_catalunia	130.206.5.1/24
red_madrid	130.206.8.1/24
red_andalucia	130.206.14.1/24

En la Figura 4-6, se detalla el despliegue de esta red de distribución de contenido donde cabe mencionar que los enlaces que comunican Madrid con Cataluña son enlaces externos, en el sentido de que el enlace funciona a través de la comunicación entre los puntos de presencia norte y sur.



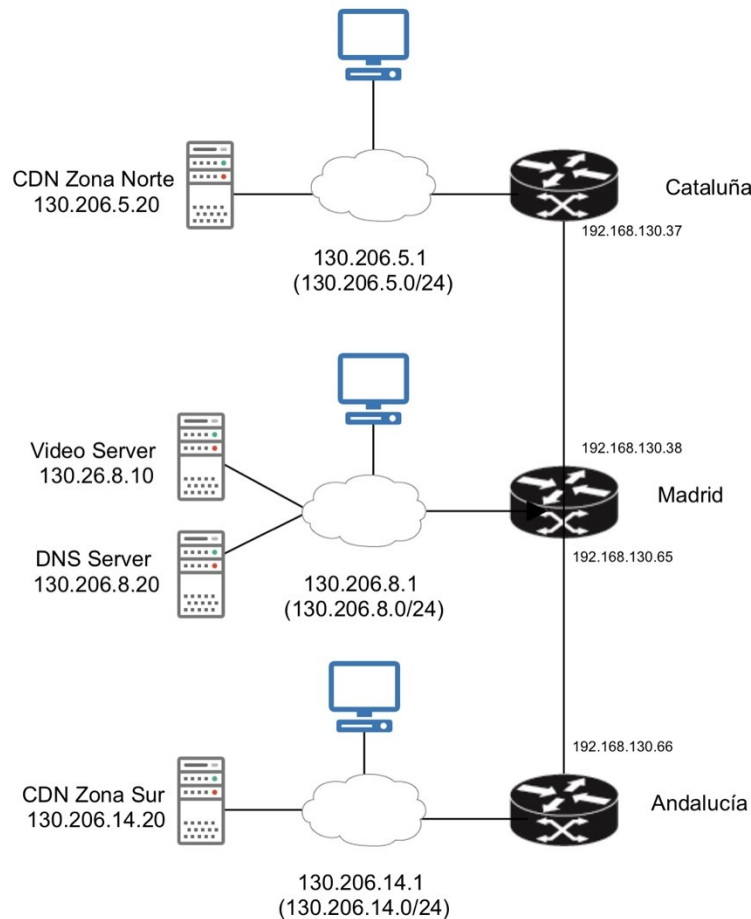
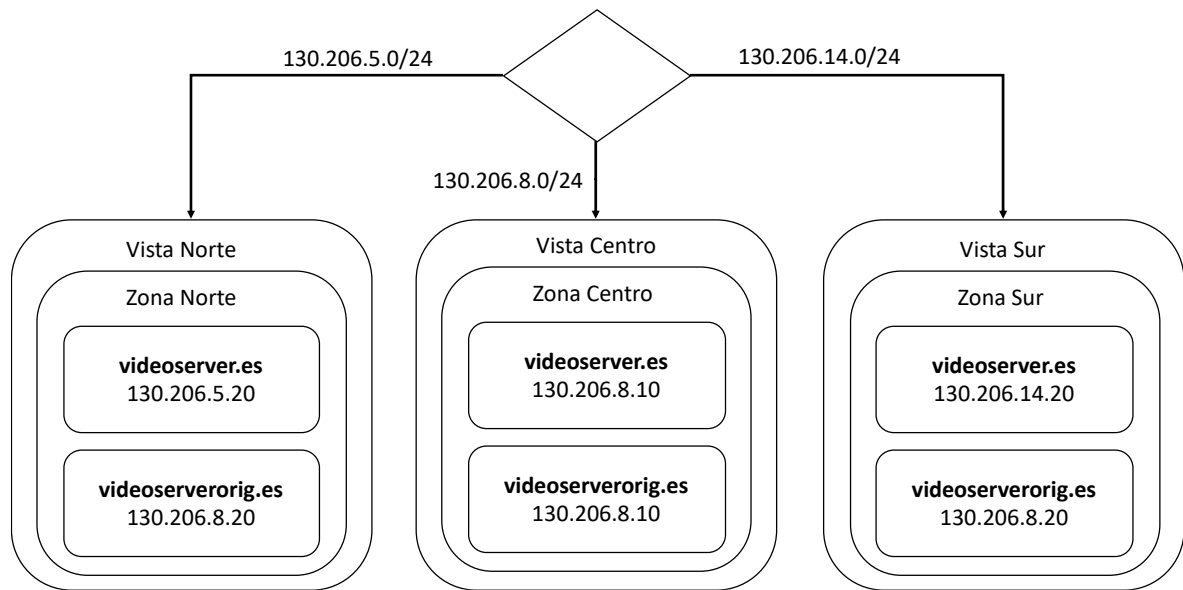


Figura 4-6 Diagrama de la red de distribución de contenido

Un componente crucial de esta red es el servidor DNS, ya que gracias él se podrá ofrecer a los usuarios el servidor de vídeo más cercano a su localización. Por ejemplo, si el usuario está en Madrid tendrá una dirección perteneciente al rango 130.206.8.0/24 y, por tanto, cuando requiera de acceder a los vídeos preguntará por el nombre de dominio al DNS y este resolverá hacia el servidor situado en Madrid; si el usuario se encuentra en Andalucía usará una dirección perteneciente al rango 130.206.14.0/24 y, por tanto, cuando el usuario pregunte por el nombre de dominio al DNS, este le resolverá hacia el servidor CDN situado en Andalucía. Para finalizar, si el usuario se encuentra en Cataluña tendrá el direccionamiento perteneciente al rango delegado 130.206.5.0/24 y cuando pregunte por el nombre de dominio al DNS obtendrá como respuesta la IP del CDN situado en Cataluña.

Para conseguir que el servidor DNS resuelva el dominio, que en nuestro caso será videosever.es, dependiendo de la localización de los usuarios debemos de configurar distintas vistas, que se corresponderán con las localizaciones, y dentro de cada vista tendremos zonas que resolverán el dominio videosever.es hacia la IP del servidor más cercano. También, deberemos de crear un dominio con el servidor de vídeo original situado en Madrid para que el resto de los servidores de CDN puedan actualizar los contenidos solicitando esa información al servidor de Madrid. Este comportamiento se resume en la Figura 4-7. Por ejemplo, si el usuario tiene la IP 130.206.5.30 cuando pregunte al servidor DNS por la dirección IP que tiene el dominio videosever.es, esta petición pasará por la vista norte y responderá con la IP 130.206.5.20 que pertenece al dominio registrado en la zona

norte dentro de dicha vista y por tanto, el cliente solicitará el vídeo al servidor CDN situado en Cataluña.



*Figura 4-7 Resolución de Dominios por Localización*

## 4.3 Conclusiones

En este capítulo hemos visto el diseño de los dos casos de uso que se implementarán en este TFM. Primero hemos visto la red virtual que será una red dividida en dos puntos de presencia basada en RedIRIS 10, y luego nos hemos centrado en la red de distribución de contenidos, destacando el papel importante que tiene el servidor DNS para conseguir que los usuarios soliciten el contenido de vídeo a los servidores de vídeo más cercanos, mejorando la experiencia de dichos clientes y evitando la saturación de las redes. Una vez que tenemos definido las distintas redes, así como su direccionamiento, continuamos con el Capítulo 5, donde construiremos el entorno compuesto por dos infraestructuras virtuales y un orquestador, y desplegaremos los dos casos de uso diseñados en este capítulo.

## 5 Implementación

En esta parte del trabajo vamos a explicar cómo se han implementado los dos casos de uso, cuyo diseño hemos comentado anteriormente. Primero nos centraremos en el entorno que ha sido construido para desplegar estas redes, luego veremos cómo se ha desplegado el caso de red virtual, y tras esto estudiaremos del despliegue de la red de distribución de contenidos. También, analizaremos los recursos que requieren el entorno, así como los distintos casos de uso que se han implementado. Por último, realizaremos un cálculo preliminar del coste del despliegue de los casos de uso en un entorno virtual frente un entorno físico.

### 5.1 Infraestructura Virtual

La infraestructura virtual, que es la que proporciona los recursos virtualizados de computación, memoria y almacenamiento, sobre la que se desplegarán las distintas funciones de red virtuales será Openstack. Puesto que solo requerimos de los componentes básicos de Openstack vamos a realizar el despliegue de esta infraestructura sobre una máquina virtual en la que se ha instalado Ubuntu-18.04.4, gracias a DevStack.

Puesto que en el apartado de diseño se ha especificado que necesitamos dos puntos de presencia, deberemos de desplegar dos infraestructuras virtualizadas con Openstack. Para ello, se despliegan dos máquinas virtuales con Ubuntu-18.04.4 y la instalación Openstack con los componentes mínimos detallados en el Capítulo 2.3.2.1. Dado que estos puntos de presencia deben comunicarse entre ellos y con el orquestador, que se detallará en la siguiente sección, debemos de tener varias interfaces en dichas máquinas virtuales. Las máquinas virtuales se han desplegado sobre Virtualbox, permitiendo así una migración desde cualquier host de manera más sencilla. Al comienzo del proyecto se desplegó sobre un portátil, pero a pesar de actualizar los recursos, estos no fueron suficientes y fue necesario migrar a otro equipo más potente.

Las máquinas virtuales desplegadas sobre Virtualbox tienen 3 adaptadores de red y por ende tres interfaces, la primera de ellas es la conectada al NAT permitiendo acceder a Internet a través del host sobre el que está instalado Virtualbox y, por tanto dónde se ejecuta la máquina virtual. Este acceso es necesario para facilitar la instalación de Openstack, ya que requiere de numerosos paquetes y su instalación sin acceso a Internet era realmente complicada. El siguiente adaptador es de tipo “solo-anfitrión” y será la red de gestión que permita la comunicación entre el Orquestador y los puntos de presencia, así como la comunicación entre el host y los distintos entornos, ya que una forma de operar este entorno es a través interfaz de usuario basada en web. Por último, tendríamos una red de tipo “interna” que permitirá la comunicación entre los puntos de presencia, así como entre el orquestador y los puntos de presencia y será la red por la que distintas VNF desplegadas en los puntos de presencia pueden comunicarse.

En la Figura 5-1, se detalla las interfaces, las redes, así como el direccionamiento asignado a dichas máquinas. El POP norte tendrá como IP de gestión la 172.29.0.4 y como IP de la red interna la 192.168.100.1, el POP sur tendrá como IP de gestión la 172.29.0.5 y como IP de la red interna la 192.168.100.3.

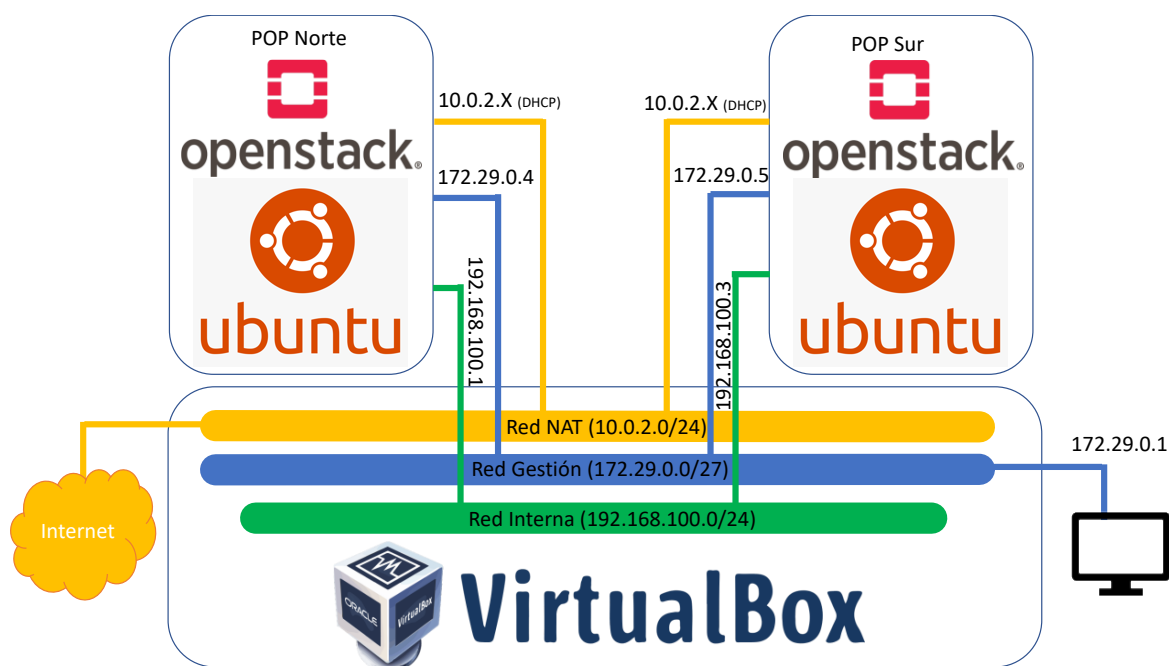


Figura 5-1 Arquitectura POPs

Los recursos iniciales con los que contaban cada POP se detallan en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1 Recursos iniciales POP

Recurso	Cantidad
CPU	2
RAM	8 GB
HDD	60 GB

Por lo tanto, los recursos totales de ambos POP eran:

Tabla 5-2 Recursos Iniciales de los dos POP

Recurso	Cantidad
CPU	4
RAM	16 GB
HDD	120 GB

Al comienzo de este proyecto se desplegó sobre un portátil Macbook Pro cuyos recursos eran: CPU Intel Core i7" 2.9 GHz con dos núcleos y cuatro hilos, 8 GB de RAM y disco SSD de 500 GB. Tras ver que los recursos no eran suficientes se actualizó a 16 GB de RAM. Pero aun así no era posible tener encendidas las dos máquinas virtuales que representan los POP y mucho menos tener la tercera máquina virtual que será el orquestador, por eso se decidió desplegar sobre otro entorno con mayores recursos. Este entorno se detalla en la Figura 5-2 y consta de una máquina virtual con Ubuntu 18 instalada sobre VMware y que dentro de esta, se instalará Virtualbox y se ejecutarán todas las máquinas virtuales necesarias para este trabajo.

La máquina virtual Ubuntu, sobre la que se instala Virtualbox, será la que consideremos como nuestro host y los recursos asignados a dicha máquina son:

*Tabla 5-3 Recursos Host Ubuntu sobre VMware*

Recurso	Cantidad
CPU	16
RAM	64 GB
HDD	500 GB



*Figura 5-2 Entorno sobre VMware*

Por tanto, los recursos asignados a cada POP en el nuevo entorno se detallan en la Tabla 5-4.

*Tabla 5-4 Recursos del POP en el nuevo entorno.*

Recurso	Cantidad
CPU	6
RAM	24 GB
HDD	60 GB

## 5.2 Orquestador OS MANO

Puesto que la red física se desacopla de la infraestructura y los servicios de red, es necesario crear nuevas herramientas que permitan la gestión y la orquestación de las funciones de red virtualizadas, ya que dichas funciones pueden ser complejas debido a la interacción de varios componentes que podrían encontrarse distribuidos geográficamente y ser proporcionados por distintos proveedores [28]. Gracias al Orquestador OS MANO podremos desplegar tanto las funciones de red virtuales como servicios de red que contengan esas funciones de red de manera rápida y sencilla.

El despliegue de OS MANO se realiza sobre una máquina virtual con Ubuntu. Para que el orquestador pueda desplegar funciones de red virtuales es necesario que pueda alcanzar a las infraestructuras virtuales. Concretamente, es necesario alcanzar la API de Openstack, tal como se muestra en la Figura 5-3, a través de la red de gestión.

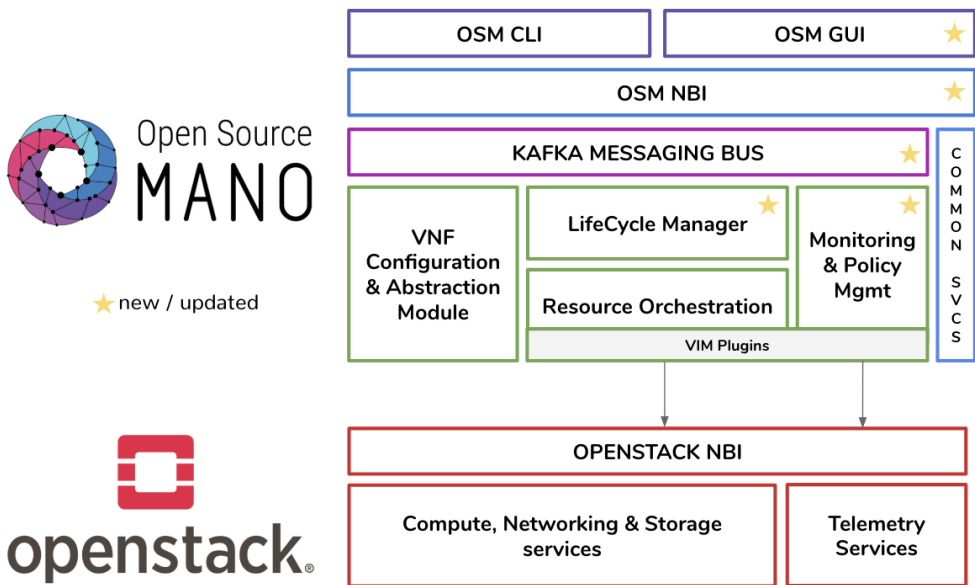


Figura 5-3 Arquitectura OS MANO – Openstack [36].

Una vez que existe la conectividad entre las infraestructuras virtuales y el orquestador es necesario dar de alta cada Openstack como VIM en OS MANO, añadiendo la dirección del API y la clave, así como el grupo de seguridad por defecto. Esto se puede realizar a través de comandos en el orquestador tal como se muestra en la Tabla 5-5:

Tabla 5-5 Comandos para añadir VIM a OS MANO

<pre>osm vim-create --name openstack2 --user admin --password nomoresecret --auth_url http://172.29.0.4/identity/v3 --tenant admin --account_type openstack --config='{security_groups: default, keypair: os_mano_key}'</pre>
<pre>osm vim-create --name openstacksur --user admin --password nomoresecret --auth_url http://172.29.0.5/identity/v3 --tenant admin --account_type openstack --config='{security_groups: default, keypair: os_mano_key_openstacksur}'</pre>

Una vez que están añadidos en OS MANO, desde el orquestador podemos tanto desplegar las funciones de red virtuales como acceder, si fuera necesario, por gestión para operarlas.

El entorno tras añadir el orquestador quedaría de la siguiente manera:

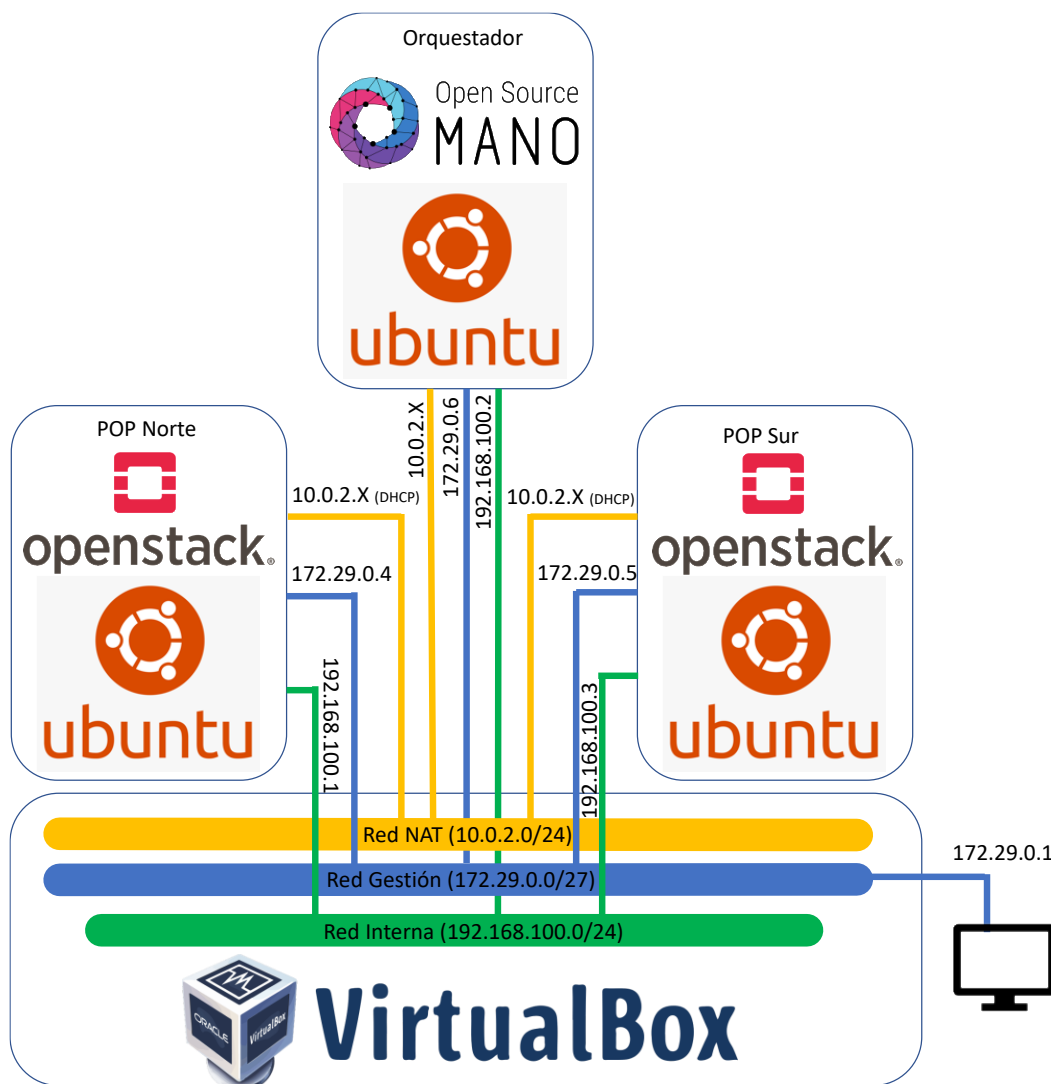


Figura 5-4 Arquitectura POPs y Orquestador

El orquestador OS MANO tiene como IP de gestión la dirección 172.29.0.6, con la que se llegará a las dos infraestructuras desplegadas en los POP norte y sur. También tendrá la dirección 192.168.100.2, perteneciente a la red interna y que permitirá acceder a las funciones de red virtuales desplegadas gracias a la infraestructura virtual.

Para el despliegue de funciones de red debemos de definir los descriptores de VNF que contienen: los recursos con los que contará esa función de red, la imagen del sistema operativo de dicha función, las interfaces, los puntos de conexión y un fichero de configuración Cloud-Init. Cloud-Init es un estándar para la inicialización de las instancias en las distintas plataformas de virtualización, este estándar es soportado por numerosas distribuciones de Linux como son Ubuntu, CentOS, Redhat, entre otras [37]. Para poder proporcionar la funcionalidad, Cloud-Init debe integrarse en el arranque del sistema operativo y dentro de este arranque se pueden distinguir 5 etapas [37]:

- *Generator*: Al arrancar bajo *systemd* determinará si *cloud-init.target* debe incluirse en los objetivos de arranque.
- *Local*: En esta etapa se localiza la fuente de datos locales así como la configuración de red.
- *Network*: Esta etapa requiere que todas las redes configuradas estén funcionando, ya que procesará cualquier dato de usuario que se encuentre.
- *Config*: En esta etapa se ejecutan los módulos de configuración que no tienen efecto en otras etapas del arranque, como son *runcmd* que ejecuta los comandos que se indiquen.
- *Final*: La última etapa, que se ejecuta lo más tarde posible en el arranque y aquí es donde se ejecutan los scripts que el usuario ejecuta tras iniciar sesión, como son por ejemplo la instalación de paquetes o *scripts* de *Shell*.

Una vez que hemos descrito la función de red, mediante el VNFD procedemos a la definición del servicio de red, a través del NSD que referenciará a una o varias VNF e incluirá: perfiles IP donde describiremos las distintas redes y el VLD (Virtual Link Descriptor) en el que se conectarán distintos puntos de conexión pertenecientes a una o varias funciones de red y se les asociará los perfiles IP pertinentes en los que hemos indicado las distintas redes. Todo lo que acabamos de comentar se recoge en la Figura 5-5.

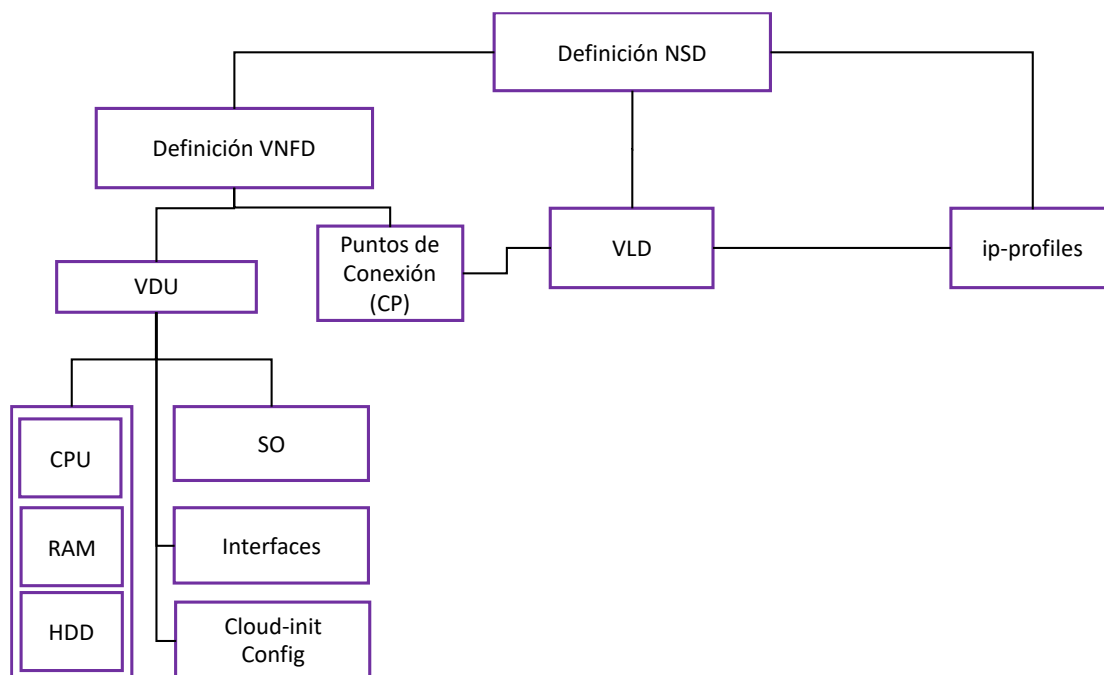


Figura 5-5 Relación NSD y VNFD

Puesto que estos servicios de red se desplegarán sobre una infraestructura virtual, vamos a indicar en que se traduce cada componente, que se ha definido en el orquestador, en la infraestructura virtual, que en nuestro caso es Openstack. Para esto vamos a utilizar, según se muestra en la Figura 5-6, los recursos asignados a la VNF que se definió en el VDU dentro del descriptor de VNF se despliegan en forma de *Flavor*, que es la definición de la capacidad de procesamiento, memoria y almacenamiento en Openstack, la imagen asociada a la VNF corresponde con la imagen cargada en Openstack, ya que el orquestador no soporta la subida de imágenes. Con el descriptor de enlaces virtuales (VLD) junto con los perfiles IP se crean las redes necesarias en Openstack. Y por último, con las interfaces, Cloud-Init y el sistema



operativo se crea la instancia en Openstack que usará las redes y el *Flavor* anteriormente mencionado.

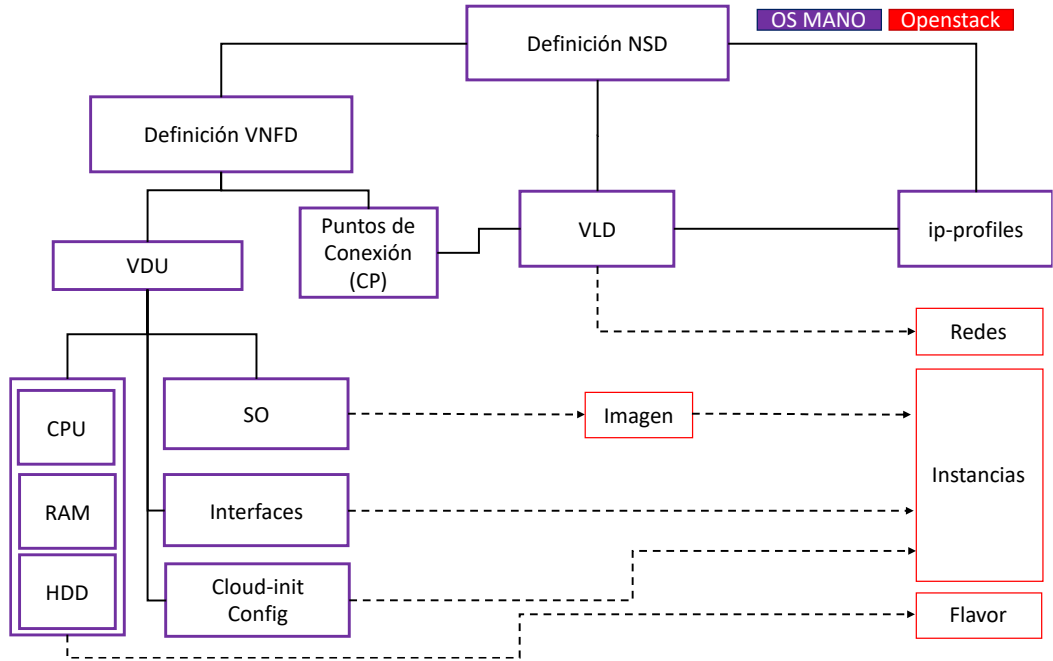


Figura 5-6 Relación componentes OS MANO - Openstack

Los casos de uso que detallaremos en las dos secciones siguientes están basados en un servicio de red compuesto por varias funciones de red, como se podrá observar gracias a cloud-init podemos configurar el sistema operativo de estas funciones de red sin necesidad de acceder por ssh a las máquinas y realizar las configuraciones pertinentes. Debido a que en este trabajo se ha utilizado las soluciones en orquestación más novedosas, los archivos de configuración de Cloud-Init, así como los descriptores de servicios de red y los descriptores de funciones de red han sido realizados manualmente desde cero.

Los recursos asignados al orquestador en el nuevo entorno se detallan en la Tabla 5-6.

Tabla 5-6 Recursos del Orquestador en el nuevo entorno.

Recurso	Cantidad
CPU	2
RAM	8 GB
HDD	64 GB

## 5.3 Red Virtual

La red virtual cuyo diseño se detalló en el apartado 4.1 se muestra en la Figura 4-2. En ella podemos ver los enrutadores que serán las funciones de red a desplegar y que junto a las redes y enlaces formarán el servicio de red. Este servicio se desplegará en dos POP conocidos como norte y sur. Como la Red Virtual se divide en dos POP creamos dos servicios de red uno llamado Red\_Norte\_nsd y otro Red\_Sur\_nsd. El servicio de red llamado Red\_Norte\_nsd estará formado por las funciones de red recogidas en la Figura 4-3.

Tenemos 9 enrutadores y, por tanto 9 funciones de red virtuales que componen este servicio de Red\_Norte\_nsd. Antes de continuar con cómo están descritas estas funciones de red y el servicio de red, debemos de hablar de el sistema operativo de estos enrutadores que en este caso es VyOS. VyOS es un sistema operativo de red de código abierto que se puede ejecutar en una amplia variedad recursos físicos, máquinas virtuales y proveedores de nube, soporta protocolos de *routing* como BGP y OSPF, así como de red entre los que destacan DHCP y DHCP Relay. Vamos a utilizar una imagen de VyOS modificada para soportar Cloud-Init y poder configurar los enrutadores sin necesidad de acceder a los equipos.

El archivo de configuración de Cloud-Init en los enrutadores que vamos a desplegar tendrán los mismos componentes, solo variará las interfaces, las redes y el nombre del equipo. Por ejemplo, en la Tabla 5-7 podemos ver el caso del enrutador de Galicia, que tiene un apartado de interfaces donde se describe el direccionamiento si es estático o si se le asigna por medio de DHCP. Tras este apartado tenemos la sección de protocolos donde especificamos que el enrutador debe utilizar el protocolo OSP así como las redes pertenecientes a este enrutador que formarán parte del área 0. Como comentamos en el capítulo de diseño, esta red virtual solo tendrá un área por lo que todos los enrutadores conocerán todas las redes. Por último, tenemos el apartado *system* donde indicaremos el nombre del enrutador.

Tabla 5-7 Fichero configuración Cloud-init Enrutador Galicia

```
1      #vyos-config
2      interfaces {
3          ethernet eth0 {
4              address 192.168.130.1/30
5          }
6          ethernet eth1 {
7              address dhcp
8          }
9          ethernet eth2 {
10             address 192.168.130.5/30
11         }
12         ethernet eth3 {
13             address 192.168.130.86/30
14         }
15         loopback lo {
16         }
17     }
18     protocols {
19         ospf {
20             area 0 {
```

```

21             network 192.168.130.0/30
22             network 130.206.0.0/24
23             network 192.168.130.4/30
24             network 192.168.130.84/30
25         }
26     }
27 }
28 system {
29     host-name galicia
30 }

```

Una vez que tenemos definido el archivo de configuración de Cloud-Init, continuamos con la definición de la función de red virtual. Como hemos hablado del enrutador de Galicia continuamos con el VNFD, que se muestra en la Tabla 5-8: este descriptor será similar al resto de enrutadores y solo variará en el número de interfaces, puntos de conexión, fichero de Cloud-Init, así como el nombre de la función de red. En la parte superior tenemos los puntos de conexión, que en este caso son 4 y en ellos indicamos el tipo de puerto así como que el puerto de seguridad está deshabilitado para no interferir en la comunicación entre enrutadores. Tras los puntos de conexión tenemos el nombre y la descripción de la función de red, que en este caso se llama Router\_Galicia\_vnf. Por último, tenemos el vdu donde describimos las interfaces que tendrá esta máquina asociándolos con los puntos de conexión, también se indica que se utilizará un fichero de configuración Cloud-Init y el tamaño del *Flavor* que se debe utilizar en las infraestructuras virtuales desplegadas gracias a Openstack.

Tabla 5-8 VNFD Galicia

```

1  vnfd:vnfd-catalog:
2  vnfd:
3  - connection-point:
4  - id: cp_eth0
5    name: cp_eth0
6    port-security-enabled: false
7    short-name: cp_eth0
8    type: VPORT
9  - id: cp_eth1
10   name: cp_eth1
11   port-security-enabled: false
12   short-name: cp_eth1
13   type: VPORT
14  - id: cp_eth2
15   name: cp_eth2
16   port-security-enabled: false
17   short-name: cp_eth2
18   type: VPORT
19  - id: cp_eth3
20   name: cp_eth3
21   port-security-enabled: false
22   short-name: cp_eth3
23   type: VPORT
24  description: ''
25  id: Router_Galicia_vnf

```

```

26     internal-vld: []
27     mgmt-interface:
28         cp: cp_eth0
29     name: Router_Galicia_vnf
30     short-name: Router_Galicia_vnf
31     vdu:
32     - cloud-init-file: cloud_config_router_galicia.cfg
33       count: 1
34       description: vm_RGalicia
35       id: vm_RGalicia
36       image: vyos_117
37       interface:
38       - external-connection-point-ref: cp_eth0
39         name: eth0
40         position: '1'
41         type: EXTERNAL
42         virtual-interface:
43             type: VIRTIO
44       - external-connection-point-ref: cp_eth1
45         name: eth1
46         position: '2'
47         type: EXTERNAL
48         virtual-interface:
49             type: VIRTIO
50       - external-connection-point-ref: cp_eth2
51         name: eth2
52         position: '3'
53         type: EXTERNAL
54         virtual-interface:
55             type: VIRTIO
56       - external-connection-point-ref: cp_eth3
57         name: eth3
58         position: '4'
59         type: EXTERNAL
60         virtual-interface:
61             type: VIRTIO
62     vm-flavor:
63         memory-mb: 512
64         storage-gb: 3
65         vcpu-count: 1
66     version: '1.0'

```

Todas las descripciones de funciones de red así como los ficheros de configuración del escenario completo se encuentran en el Anexo A. Como ya hemos visto un ejemplo de Cloud-init, que será el que configure la imagen de VyOS y la descripción de función de red, gracias a la cual el orquestador instanciará una máquina de acuerdo a los requisitos que se incluyen en dicho descriptor, continuamos con la descripción del servicio de red del POP norte.

La descripción del servicio de red del POP norte se muestra, para la parte de Galicia, en la Tabla 5-9, ya que dicho descriptor es muy extenso y por tanto el descriptor completo se indicará en el Anexo A. También vamos a retomar la Figura 4-3 del diagrama de red de la zona norte para ver en detalle el ejemplo de Galicia y para entender mejor cómo se ha estructurado dicho descriptor. En las Filas 3-13 de la Tabla 5-9 se indican qué VNFD componen el servicio de red norte. Como hemos comentado, hemos dejado solo la parte relevante al enrutador de Galicia, en las Filas 14,15, 50,51 se indica el nombre así como la descripción del servicio de red. Entre la Fila 16 y la 49 se indican los perfiles IP y en la Fila 17 tenemos el perfil IP llamado `inter_Galicia_Asturias_profile` en el que se indicará el direccionamiento de la red punto a punto, en él se indica que no es una red en la que se permita el servidor DHCP ya que al ser un /30 solo tenemos dos direcciones que serán utilizadas por los enrutadores para su comunicación. Este direccionamiento es el 192.168.130.0/30, que se corresponde con el usado para la comunicación Galicia-Asturias. En la Fila 25 se indica el perfil IP llamado `inter_Galicia_PaisVasco_profile` que será el que indique la red que se usará para la comunicación Galicia – País Vasco y utilizará el direccionamiento perteneciente al rango que se indica en la Fila 30. Para el caso de la comunicación entre Galicia – Castilla y León ocurre lo mismo, el último perfil IP que se indica en la tabla corresponde con `red_galicia_profile` y en él se indica que se utilizará el rango 130.206.0.1/24, que será el que tendrán los usuarios de Galicia. En la Fila 42 se indican los parámetros DHCP que será ofrecidos por la propia infraestructura Openstack, en la Línea 45 se indica que la primera IP usable es la 130.206.0.2 porque por diseño la primera IP es la IP de la interfaz del enrutador para esta red y por tanto el Gateway de todos los usuarios conectados a este enrutador.

*Tabla 5-9 NSD Norte Parcial con Enrutador Galicia*

1	nsd:nsd-catalog:
2	nsd:
3	- constituent-vnfd:
4	- member-vnf-index: 1
5	vnfd-id-ref: Router_Galicia_vnf
6	- member-vnf-index: 2
7	vnfd-id-ref: Router_Asturias_vnf
8	.....
9	- member-vnf-index: 4
10	vnfd-id-ref: Router_PaisVasco_vnf
11	.....
12	- member-vnf-index: 9
13	vnfd-id-ref: Router_CastillaLeon_vnf
14	description: Red Norte
15	id: Red_Norte
16	ip-profiles:
17	- description: inter_Galicia_Asturias_profile
18	ip-profile-params:
19	dhcp-params:
20	enabled: false
21	ip-version: ipv4
22	subnet-address: 192.168.130.0/30
23	name: inter_Galicia_Asturias_profile
24	.....
25	- description: inter_Galicia_PaisVasco_profile

```

26      ip-profile-params:
27        dhcp-params:
28          enabled: false
29          ip-version: ipv4
30          subnet-address: 192.168.130.4/30
31      name: inter_Galicia_PaisVasco_profile
32  - description: inter_Galicia_CastillaLeon_profile
33      ip-profile-params:
34        dhcp-params:
35          enabled: false
36          ip-version: ipv4
37          subnet-address: 192.168.130.84/30
38      name: inter_Galicia_CastillaLeon_profile
39      .....
40  - description: red_galicia_profile
41      ip-profile-params:
42        dhcp-params:
43          count: 252
44          enabled: true
45          start-address: 130.206.0.2
46          ip-version: ipv4
47          subnet-address: 130.206.0.1/24
48      name: red_galicia_profile
49      .....
50  name: Red_Norte
51  short-name: Red_Norte
52  version: '1.0'
53  vld:
54  - id: inter_Galicia_Asturias
55      ip-profile-ref: inter_Galicia_Asturias_profile
56      mgmt-network: 'false'
57      name: inter_Galicia_Asturias
58      short-name: inter_Galicia_Asturias
59      type: ELAN
60      vnfd-connection-point-ref:
61      - ip-address: 192.168.130.1
62        member-vnf-index-ref: 1
63        vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
64        vnfd-id-ref: Router_Galicia_vnf
65      - ip-address: 192.168.130.2
66        member-vnf-index-ref: 2
67        vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
68        vnfd-id-ref: Router_Asturias_vnf
69      .....
70  - id: inter_Galicia_PaisVasco
71      ip-profile-ref: inter_Galicia_PaisVasco_profile
72      mgmt-network: 'false'
73      name: inter_Galicia_PaisVasco
74      short-name: inter_Galicia_PaisVasco

```

```

75         type: ELAN
76         vnfd-connection-point-ref:
77         - ip-address: 192.168.130.5
78           member-vnf-index-ref: 1
79         vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
80         vnfd-id-ref: Router_Galicia_vnf
81         - ip-address: 192.168.130.6
82           member-vnf-index-ref: 4
83         vnfd-connection-point-ref: cp_eth3
84         vnfd-id-ref: Router_PaisVasco_vnf
85         - id: inter_Galicia_CastillaLeon
86           ip-profile-ref:
inter_Galicia_CastillaLeon_profile
87           mgmt-network: 'false'
88           name: inter_Galicia_CastillaLeon
89           short-name: inter_Galicia_CastillaLeon
90           type: ELAN
91           vnfd-connection-point-ref:
92           - ip-address: 192.168.130.86
93             member-vnf-index-ref: 1
94             vnfd-connection-point-ref: cp_eth3
95             vnfd-id-ref: Router_Galicia_vnf
96           - ip-address: 192.168.130.85
97             member-vnf-index-ref: 9
98             vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
99             vnfd-id-ref: Router_CastillaLeon_vnf
100         .....
101         - id: red_galicia
102           ip-profile-ref: red_galicia_profile
103           mgmt-network: 'false'
104           name: red_galicia
105           short-name: red_galicia
106           type: ELAN
107           vnfd-connection-point-ref:
108           - ip-address: 130.206.0.1
109             member-vnf-index-ref: 1
110             vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
111             vnfd-id-ref: Router_Galicia_vnf
112         .....

```

A partir de la Fila 53 se indican los enlaces virtuales. En el enlace `inter_Galicia_Asturias` se puede observar que utiliza el perfil IP `inter_Galicia_Asturias_profile`, así como que este enlace no es una red de gestión y es de tipo ELAN (*Emulated Local Area Network*). En la Fila 60 se indican el punto de conexión, que en este caso es el punto de conexión `cp_eth0` de las funciones de red `Router_Galicia_vnf` y `Router_Asturias_vnf`, además se indica que dirección tiene cada interfaz. Para el caso de la red que se utiliza en Galicia tenemos las Filas 101 a 111 donde podemos ver que solo hay un punto de conexión que corresponde al `cp_eth1` de la VNF `Router_Galicia_vnf` y que tiene asignada la dirección 130.206.0.1.





Para el caso de la Zona Sur tenemos la Figura 4-4, y como ocurría en la zona norte nos vamos a centrar en casos concretos, ya que el resto de las funciones de red son similares, los descriptores completos se encontrarán en el Anexo A.

En este caso nos centramos en el enrutador de Madrid: primero vemos el Cloud-Init que configurará el VyOS, luego veremos el descriptor de la función de red y por último el servicio de red Red\_Sur\_nsd centrándonos en el caso de Madrid. En el archivo de configuración, que se encuentra en la Tabla 5-10, podemos ver que en las Filas 2 a 29 se definen 8 interfaces, en las Filas 30 a 43 se detalla las redes que tendrá este enrutador y que serán conocidas por el resto de los enrutadores mediante OSPF. Para finalizar, en la Fila 44 se indica cómo se va a llamar este enrutador.

*Tabla 5-10 Fichero configuración Cloud-init Enrutador Madrid*

1	#vyos-config
2	interfaces {
3	ethernet eth0 {
4	address 192.168.130.78/30
5	}
6	ethernet eth1 {
7	address dhcp
8	}
9	ethernet eth2 {
10	address 192.168.130.49/30
11	}
12	ethernet eth3 {
13	address 192.168.130.46/30
14	}
15	ethernet eth4 {
16	address 192.168.130.38/30
17	}
18	ethernet eth5 {
19	address 192.168.130.94/30
20	}
21	ethernet eth6 {
22	address 192.168.130.65/30
23	}
24	ethernet eth7 {
25	address 192.168.130.74/30
26	}
27	loopback lo {
28	}
29	}
30	protocols {
31	ospf {
32	area 0 {
33	network 192.168.130.72/30
34	network 192.168.130.76/30
35	network 192.168.130.48/30
36	network 130.206.8.0/24
37	network 192.168.130.44/30

```

38             network 192.168.130.36/30
39             network 192.168.130.92/30
40             network 192.168.130.64/30
41         }
42     }
43 }
44 system {
45     host-name madrid
46 }

```

Para el descriptor de la función de red vamos a dividirlo en varias partes, la Tabla 5-11 en la que podemos ver que este enrutador tiene bastantes puntos de conexión, concretamente 8, y como todos tienen deshabilitado que sean un puerto de seguridad para facilitar la conectividad.

*Tabla 5-11 Puntos de Conexión VNFD Madrid*

```

1  vnfd:vnfd-catalog:
2      vnfd:
3      - connection-point:
4          - id: cp_eth0
5            name: cp_eth0
6            port-security-enabled: false
7            short-name: cp_eth0
8            type: VPORT
9      - id: cp_eth1
10        name: cp_eth1
11        port-security-enabled: false
12        short-name: cp_eth1
13        type: VPORT
14      - id: cp_eth2
15        name: cp_eth2
16        port-security-enabled: false
17        short-name: cp_eth2
18        type: VPORT
19      - id: cp_eth3
20        name: cp_eth3
21        port-security-enabled: false
22        short-name: cp_eth3
23        type: VPORT
24      - id: cp_eth4
25        name: cp_eth4
26        port-security-enabled: false
27        short-name: cp_eth4
28        type: VPORT
29      - id: cp_eth5
30        name: cp_eth5
31        port-security-enabled: false
32        short-name: cp_eth5
33        type: VPORT
34      - id: cp_eth6

```

```

35      name: cp_eth6
36      port-security-enabled: false
37      short-name: cp_eth6
38      type: VPORT
39      - id: cp_eth7
40        name: cp_eth7
41        port-security-enabled: false
42        short-name: cp_eth7
43        type: VPORT

```

En la Tabla 5-12, podemos ver el nombre de la función de red así como su vdu donde se indica el fichero de configuración del Cloud-Init, así como su nombre y la imagen que se utilizará como sistema operativo.

*Tabla 5-12 Nombre y fichero configuración Cloud-Init en VNFD Madrid*

```

44      description: ''
45      id: Router_Madrid_vnf
46      internal-vld: []
47      mgmt-interface:
48        cp: cp_eth0
49      name: Router_Madrid_vnf
50      short-name: Router_Madrid_vnf
51      vdu:
52        - cloud-init-file: cloud_config_router_madrid.cfg
53          count: 1
54        description: vm_RMadrid
55        id: vm_RMadrid
56        image: vyos_117

```

Por último, tenemos la Tabla 5-13 en la que se indican las interfaces así como los puertos asociados, también se puede observar como en las Filas 106 a 109 se indican los recursos necesarios para esta función de red virtual.

*Tabla 5-13 Interfaces VNFD Madrid*

```

57      interface:
58        - external-connection-point-ref: cp_eth0
59          name: eth0
60          position: '1'
61          type: EXTERNAL
62          virtual-interface:
63            type: VIRTIO
64        - external-connection-point-ref: cp_eth1
65          name: eth1
66          position: '2'
67          type: EXTERNAL
68          virtual-interface:
69            type: VIRTIO
70        - external-connection-point-ref: cp_eth2
71          name: eth2
72          position: '3'

```

```

73         type: EXTERNAL
74         virtual-interface:
75             type: VIRTIO
76         - external-connection-point-ref: cp_eth3
77           name: eth3
78           position: '4'
79         type: EXTERNAL
80         virtual-interface:
81             type: VIRTIO
82         - external-connection-point-ref: cp_eth4
83           name: eth4
84           position: '5'
85         type: EXTERNAL
86         virtual-interface:
87             type: VIRTIO
88         - external-connection-point-ref: cp_eth5
89           name: eth5
90           position: '6'
91         type: EXTERNAL
92         virtual-interface:
93             type: VIRTIO
94         - external-connection-point-ref: cp_eth6
95           name: eth6
96           position: '7'
97         type: EXTERNAL
98         virtual-interface:
99             type: VIRTIO
100        - external-connection-point-ref: cp_eth7
101          name: eth7
102          position: '8'
103        type: EXTERNAL
104        virtual-interface:
105            type: VIRTIO
106        vm-flavor:
107            memory-mb: 512
108            storage-gb: 3
109            vcpu-count: 1
110        version: '1.0'

```

Para el servicio de red sur, en vez de comentarlo a partir del descriptor en formato YAML vamos a verlo gráficamente en la Figura 5-8. En la parte superior de la figura podemos ver un cuadrado morado que representa la VNF del enrutador de Madrid y como este tiene conectados ocho cuadrados azules representando los puntos de conexión de dicha VNF, en verde podemos ver los enlaces virtuales que está creados y como los puntos de conexión se conectan a ellas.



Para desplegar estos servicios de red desde el orquestador OS MANO, debemos de crear una nueva instancia de servicio de red. Para ello elegimos el NSD de cada zona, así como el VIM que desplegará dicho servicio sobre un POP concreto, en nuestro caso openstack2 es el POP Norte y openstacksur es el POP Sur. En la Figura 5-10 se muestra cómo desplegamos la Red Norte sobre el POP Norte y en la Figura 5-11 se ve el despliegue de la Red Sur sobre el POP Sur. Por último, en la Figura 5-12 vemos como los dos entornos han sido desplegados correctamente.

New Instance

Name \*

RedNorte

Description \*

RedNorte

Nsd Id \*

Red\_Norte

Vim Account Id \*

openstack2

SSH Key

Paste your key here...

Or load from file

Examinar...

No se han seleccionado archivos.

Config

Yaml config

Or load from file

Examinar...

No se ha seleccionado ningún archivo.

Cancel

Create

Cancel

Create

New Instance

Name \*

RedSur

Description \*

Red Sur

Nsd Id \*

Red\_Sur

Vim Account Id \*

openstacksur

SSH Key

Paste your key here...

Or load from file

Examinar...

No se han seleccionado archivos.

Config

Yaml config

Or load from file

Examinar...

No se ha seleccionado ningún archivo.

Cancel

Create

Cancel

Create

Figura 5-10 Despliegue Red Norte sobre POP Norte.

Figura 5-11 Despliegue Red Sur sobre POP Sur.

NS Instances

New NS

Show 10 entries

Search:

Name	Identifier	Nsd name	Operational Status	Config Status	Detailed Status	Actions
RedNorte	af2444d2-ca22-4db3-bffe-94b6138325d8	Red_Norte	running	configured	Done	<div> <div></div> <div></div> <div></div> <div>Actions</div> </div>
RedSur	fbcd7243-a4cd-4caa-bc06-4a3624d475d7	Red_Sur	running	configured	Done	<div> <div></div> <div></div> <div></div> <div>Actions</div> </div>

Showing 1 to 2 of 2 entries

Previous

1

Next

Figura 5-12 Despliegue Red Virtual sobre Zona Norte y Sur

Tras ver que el orquestador desplegó la red virtual sobre los dos POP, continuaremos viendo el despliegue realizado en el ámbito de Openstack. Para ello utilizaremos el *Dashboard* que nos permite visualizar y gestionar la infraestructura virtual a través del navegador. Empezando con la zona norte, se puede ver cómo se han creado todas las redes descritas en el NSD Red\_Norte, en la Figura 5-13.

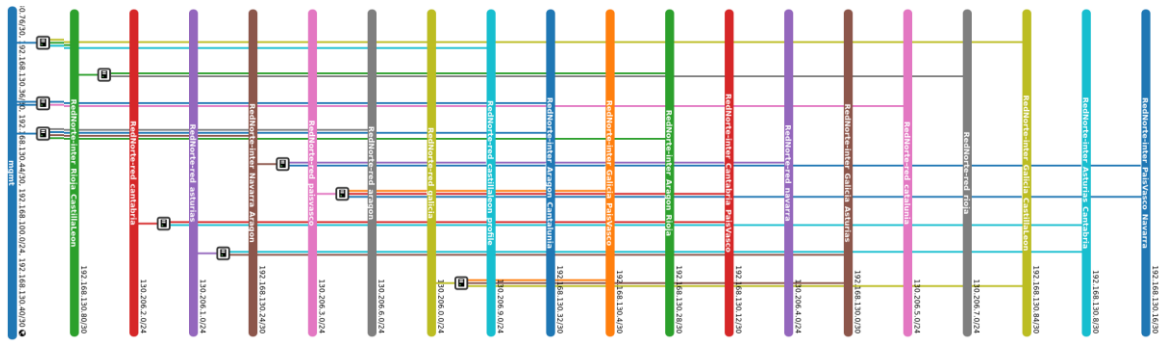


Figura 5-13 Redes en Openstack POP Norte

Como comentamos anteriormente las funciones de red virtuales en el orquestador se traducen, en la infraestructura, en instancias. Tal como se observa en la Figura 5-14, tenemos 9 enrutadores que corresponde con la zona norte así como sus redes asignadas y su direccionamiento según lo descrito en el NSD, concretamente en el apartado de VLD (*Virtual Link Descriptor*).

<input type="checkbox"/>	Instance Name	Image Name	IP Address	Flavor	Key Pair	Status	Availability Zone	Task	Power State	Age	Actions
<input type="checkbox"/>	RedNorte-9-1	vyos_117	RedNorte-inter_Galicia_CastilaLeon 192.168.130.85 mgmt 192.168.130.77 RedNorte-inter_Rioja_CastilaLeon 192.168.130.82 RedNorte-red_castilaleon_profile 130.206.9.1	-flv	os_mano_key	Activo	eu-nova	Ninguno	Corriendo	9 minutos	<a href="#">Crear instancia</a>
<input type="checkbox"/>	RedNorte-8-1	vyos_117	RedNorte-inter_Aragon_Rioja 192.168.130.29 RedNorte-inter_Rioja_CastilaLeon 192.168.130.81 RedNorte-red_rioja 130.206.7.1	-flv	os_mano_key	Activo	eu-nova	Ninguno	Corriendo	10 minutos	<a href="#">Crear instancia</a>
<input type="checkbox"/>	RedNorte-7-1	vyos_117	RedNorte-inter_Aragon_Catalunia 192.168.130.34 mgmt 192.168.130.37, 192.168.130.41 RedNorte-red_catalunia 130.206.5.1	-flv	os_mano_key	Activo	eu-nova	Ninguno	Corriendo	10 minutos	<a href="#">Crear instancia</a>
<input type="checkbox"/>	RedNorte-6-1	vyos_117	mgmt 192.168.130.45 RedNorte-red_aragon 130.206.6.1 RedNorte-inter_Aragon_Catalunia 192.168.130.33 RedNorte-inter_Navarra_Aragon 192.168.130.26 RedNorte-inter_Aragon_Rioja 192.168.130.30	-flv	os_mano_key	Activo	eu-nova	Ninguno	Corriendo	11 minutos	<a href="#">Crear instancia</a>
<input type="checkbox"/>	RedNorte-5-1	vyos_117	RedNorte-red_navarra 130.206.4.1 RedNorte-inter_Navarra_Aragon 192.168.130.25 RedNorte-inter_PaisVasco_Navarra 192.168.130.18	-flv	os_mano_key	Activo	eu-nova	Ninguno	Corriendo	11 minutos	<a href="#">Crear instancia</a>
<input type="checkbox"/>	RedNorte-4-1	vyos_117	RedNorte-inter_Galicia_PaisVasco 192.168.130.6 RedNorte-inter_Cantabria_PaisVasco 192.168.130.14 RedNorte-red_paisvasco 130.206.3.1 RedNorte-inter_PaisVasco_Navarra 192.168.130.17	-flv	os_mano_key	Activo	eu-nova	Ninguno	Corriendo	12 minutos	<a href="#">Crear instancia</a>
<input type="checkbox"/>	RedNorte-3-1	vyos_117	RedNorte-inter_Cantabria_PaisVasco 192.168.130.13 RedNorte-inter_Asturias_Cantabria 192.168.130.10 RedNorte-red_asturias 130.206.2.1	-flv	os_mano_key	Activo	eu-nova	Ninguno	Corriendo	12 minutos	<a href="#">Crear instancia</a>
<input type="checkbox"/>	RedNorte-2-1	vyos_117	RedNorte-red_asturias 130.206.1.1 RedNorte-inter_Asturias_Cantabria 192.168.130.9 RedNorte-inter_Galicia_Asturias 192.168.130.2	-flv	os_mano_key	Activo	eu-nova	Ninguno	Corriendo	13 minutos	<a href="#">Crear instancia</a>
<input type="checkbox"/>	RedNorte-1-1	vyos_117	RedNorte-inter_Galicia_PaisVasco 192.168.130.5 RedNorte-inter_Galicia_Asturias 192.168.130.1 RedNorte-inter_Galicia_CastilaLeon 192.168.130.86 RedNorte-red_galicia 130.206.0.1	-flv	os_mano_key	Activo	eu-nova	Ninguno	Corriendo	13 minutos	<a href="#">Crear instancia</a>

Mostrando 9 artículos

Figura 5-14 Instancias en Openstack POP Norte

Al igual que ocurre en la red norte, en la red sur se ha desplegado las redes descritas en el NSD Red\_Sur como podemos ver en la Figura 5-15.

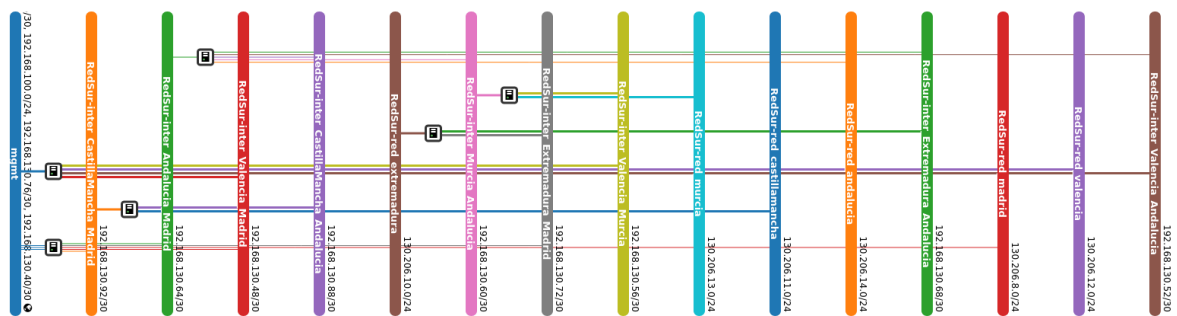


Figura 5-15 Redes en Openstack POP Sur

Y los seis enrutadores que se han desplegado con el orquestador equivalen a las 6 instancias que podemos ver en el Openstack del POP Sur, donde se ve que la imagen utilizada es VyOS, qué par de claves se han utilizado así como los *flavor* desplegados y las redes con sus direcciones.

<input type="checkbox"/>	Instance Name	Image Name	IP Address	Flavor	Key Pair	Status	Availability Zone	Task	Power State	Age	Actions
<input type="checkbox"/>	RedSur-6-1	vyos_117	RedSur-inter_Extremadura_Andalucia 192.168.130.69 RedSur-inter_Andalucia_Madrid 192.168.130.66 RedSur-inter_Valencia_Andalucia 192.168.130.54 RedSur-inter_CastillaMancha_Andalucia 192.168.130.90 RedSur-inter_Murcia_Andalucia 192.168.130.62 RedSur-red_andalucia 130.206.14.1	-flv	os_mano_key_openstacksur	Activo	us <sup>0</sup> nova	Ninguno	Corriendo	12 minutos	Crear instantánea ▾
<input type="checkbox"/>	RedSur-5-1	vyos_117	RedSur-inter_Murcia_Andalucia 192.168.130.61 RedSur-inter_Valencia_Murcia 192.168.130.58 RedSur-red_murcia 130.206.13.1	-flv	os_mano_key_openstacksur	Activo	us <sup>0</sup> nova	Ninguno	Corriendo	13 minutos	Crear instantánea ▾
<input type="checkbox"/>	RedSur-4-1	vyos_117	RedSur-inter_Extremadura_Andalucia 192.168.130.70 RedSur-red_extremadura 130.206.10.1 RedSur-inter_Extremadura_Madrid 192.168.130.73	-flv	os_mano_key_openstacksur	Activo	us <sup>0</sup> nova	Ninguno	Corriendo	13 minutos	Crear instantánea ▾
<input type="checkbox"/>	RedSur-3-1	vyos_117	mgmt 192.168.130.42 RedSur-inter_Valencia_Murcia 192.168.130.57 RedSur-red_valencia 130.206.12.1 RedSur-inter_Valencia_Andalucia 192.168.130.53 RedSur-inter_Valencia_Madrid 192.168.130.50	-flv	os_mano_key_openstacksur	Activo	us <sup>0</sup> nova	Ninguno	Corriendo	14 minutos	Crear instantánea ▾
<input type="checkbox"/>	RedSur-2-1	vyos_117	RedSur-inter_CastillaMancha_Andalucia 192.168.130.89 RedSur-inter_CastillaMancha_Madrid 192.168.130.93 RedSur-red_castillamancha 130.206.11.1	-flv	os_mano_key_openstacksur	Activo	us <sup>0</sup> nova	Ninguno	Corriendo	14 minutos	Crear instantánea ▾
<input type="checkbox"/>	RedSur-1-1	vyos_117	mgmt 192.168.130.46, 192.168.130.78, 192.168.130.38 RedSur-inter_Andalucia_Madrid 192.168.130.65 RedSur-inter_Extremadura_Madrid 192.168.130.74 RedSur-red_madrid 130.206.8.1 RedSur-inter_Valencia_Madrid 192.168.130.49 RedSur-inter_CastillaMancha_Madrid 192.168.130.94	-flv	os_mano_key_openstacksur	Activo	us <sup>0</sup> nova	Ninguno	Corriendo	15 minutos	Crear instantánea ▾

Figura 5-16 Instancias en Openstack POP Sur



Con respecto a los recursos necesarios para desplegar los enrutadores, cada enrutador necesita los recursos que se muestran en la Tabla 5-14. Estos recursos son los mínimos necesarios para desplegar VyOS y son los que se indican en las VNFD en el apartado de *Flavor*.

*Tabla 5-14 Recursos necesarios por enrutador*

<b>Recurso</b>	<b>Cantidad</b>
CPU	1
RAM	512 MB
HDD	3 GB

Puesto que en la Red Norte se despliegan 9 enrutadores y en la Red Sur se despliegan 6 tenemos que los recursos necesarios para desplegar la Red Virtual son los recogidos en la Tabla 5-15.

*Tabla 5-15 Recursos necesarios por POP y Totales para la Red Virtual*

<b>Recurso</b>	<b>POP NORTE</b>	<b>POP SUR</b>	<b>TOTAL</b>
CPU	9	6	15
RAM	4,5 GB	3 GB	7,5 GB
HDD	27 GB	18 GB	45 GB

## 5.4 Red de Distribución de Contenidos

La red de distribución de contenidos, cuyo diseño se detalló en el capítulo 4.2 es un caso de uso MEC. Para esta implementación se va a desplegar sobre dos POP, uno Norte y uno Sur. Una primera idea era desplegarlo sobre la red virtual comentada anteriormente, pero debido a la considerable demanda de almacenamiento por parte de los dos despliegues no ha sido posible realizarlo al mismo tiempo. Por eso se ha decidido hacer un despliegue más simple, pero que mantuviera los aspectos fundamentales del caso de uso, es decir, desplegarlo sobre dos POP, tal como se detalla en la Figura 4-6. Al desplegarse en dos POP dividiremos la Red de Distribución en la Zona Norte, que estará formada por el enrutador de Cataluña así como del servidor de CDN, y en la Zona Sur tendremos los enrutadores de Madrid y Andalucía, junto con el servidor de DNS y de vídeo situado en Madrid y el servidor de CDN situado en Andalucía.

Para configurar el servidor DNS se ha utilizado una imagen de Lubuntu y tras configurarlo con los parámetros necesarios se ha exportado en formato OVA y mediante qemu-img se ha transformado a formato qcow2, para después importarlo en los Openstack y poder desplegarlo mediante el orquestador OS MANO. Para la instalación del DNS se ha utilizado *bind9* y como comentamos en el capítulo de diseño, el DNS desempeña un papel fundamental para asignar el servidor más cercano al usuario mediante la resolución DNS tal como se muestra en la Figura 4-7.

Por tanto, el archivo de configuración *named.conf* del DNS, que se muestra en la Tabla 5-16, en las Filas 1 a 9 se configuran las ACL (*Access Control List*) que serán las que se utilizarán en las vistas para asignar una resolución determinada según el rango del usuario. En las Filas 11 a 21 configuramos la vista para la zona norte, donde solo permitirá entrar a usuarios del rango 130.206.5.0/24 y resolverá el dominio *videoserver.es* por la dirección IP 130.206.5.20 que es la del servidor de CDN de Cataluña y *videoserverorig.es* que en todas las zonas será el servidor de vídeo de Madrid (130.206.8.10). En las Filas 23 a 33 tenemos la vista centro en la que solo podrán entrar los usuarios de Madrid, es decir, los que tengan alguna dirección IP perteneciente al rango 130.206.8.0/24 y resolverá tanto el dominio *videoserver.es* como el *videoserverorig.es* hacia la dirección IP 130.206.8.10 que, como hemos comentado, es el servidor de vídeo de Madrid. Por último, tenemos la vista sur entre las Filas 34 y 44 donde solo podrán entrar los usuarios con IP perteneciente al rango 130.206.14.0/24 y donde la resolución DNS de *videoserver.es* será hacia la IP 130.206.14.20, que es el servidor CDN de Andalucía y el *videoserverorig.es* será hacia el servidor de vídeo de Madrid cuya dirección IP es la 130.206.8.10. Necesitamos tener un dominio idéntico en todas las zonas para que los servidores CDN puedan actualizar sus contenidos, si preguntaran por *videoserver.es* el DNS resolvería a la propia IP del servidor CDN.

Tabla 5-16 Fichero de configuración DNS *named.conf*

1	acl "zonanorte" {
2	130.206.5.0/24;
3	};
4	acl "zonacentro" {
5	130.206.8.0/24;
6	};
7	acl "zonasur" {
8	130.206.14.0/24;
9	};

```

10
11     view "viewnorte" {
12         match-clients { zonanorte; };
13         zone "videosever.es" {
14             type master;
15             file "/etc/bind/zonanorte/db.videosever.es";
16         };
17         zone "videoseverorig.es" {
18             type master;
19             file "/etc/bind/zonanorte/db.videoseverorig.es";
20         };
21     };
22
23     view "viewcentro" {
24         match-clients { zonacentro; };
25         zone "videosever.es" {
26             type master;
27             file "/etc/bind/zonacentro/db.videosever.es";
28         };
29         zone "videoseverorig.es" {
30             type master;
31             file "/etc/bind/zonacentro/db.videoseverorig.es";
32         };
33     };
34     view "viewsur" {
35         match-clients { zonasur; };
36         zone "videosever.es" {
37             type master;
38             file "/etc/bind/zonasur/db.videosever.es";
39         };
40         zone "videoseverorig.es" {
41             type master;
42             file "/etc/bind/zonasur/db.videoseverorig.es";
43         };
44     };

```

El fichero de zona es similar en todas las zonas y solo varía la dirección IP que resuelve como hemos comentado, por lo que únicamente vamos a mostrar los ejemplos de la Zona Norte. En la Tabla 5-17 tenemos el dominio videosever.es y en la Tabla 5-18 tenemos la del dominio videoseverorig.es de la zona norte.

*Tabla 5-17 Dominio videosever.es zona norte*

```

1      ;
2      ; BIND data file for local loopback interface
3      ;
4      $TTL      604800
5      @      IN      SOA videosever.es. root.videosever.es. (
6                      2      ; Serial
7                      604800  ; Refresh
8                      86400   ; Retry

```

9			2419200		; Expire
10			604800	)	; Negative Cache TTL
11					;
12	@	IN	NS		videoserver.es.
13	@	IN	A	130.206.5.20	
14	www	IN	A	130.206.5.20	
15	uam	IN	CNAME	videoserver.es.	

Tabla 5-18 Dominio videoseverorig.es zona norte

1					;
2					; BIND data file for local loopback interface
3					;
4	\$TTL		604800		
5	@	IN	SOA	videoseverorig.es. root.videoseverorig.es. (	
6			2		; Serial
7			604800		; Refresh
8			86400		; Retry
9			2419200		; Expire
10			604800	)	; Negative Cache TTL
11					;
12	@	IN	NS		videoseverorig.es.
13	@	IN	A	130.206.8.10	
14	www	IN	A	130.206.8.10	
15	uam	IN	CNAME	videoseverorig.es.	

Tras configurar el servidor DNS e importarlo en las infraestructuras Openstack procedemos con el servidor de vídeo, que para simplificarlo se instala WordPress sobre una máquina Lubuntu. Dentro del WordPress subiremos un vídeo llamado Video4k.mp4 para las pruebas, el vídeo en cuestión se encontrará en:

<http://130.206.8.10/wpcontent/uploads/2020/10/Video4k.mp4>.

Los servidores de CDN son máquinas Lubuntu sobre las que se ha instalado *nginx*. Esta solución permite hacer caché de los contenidos del servidor original. Finalmente, por lo que se optó fue que los servidores CDN almacenaran los contenidos del servidor de vídeo una vez descargados, minimizando las consultas al servidor de vídeo original. La configuración realizada en el fichero `/etc/nginx/sites-available/videosever.es` se recoge en la Tabla 5-19. En la Fila 9 con `proxy_pass` se recogen los videos del servidor original cuando el primer usuario pregunte. Una vez que los CDN están actualizados se quita esta opción y se indica en la Fila 6 donde se encuentran los vídeos. Por tanto, cuando el cliente pregunte por un vídeo alojado en el dominio videosever.es, gracias al DNS le resolverá dicho dominio al CDN más cercano, que al recibir la consulta y ver que tiene el contenido responderá a la petición como si fuera el servidor de vídeo original, permitiendo que la red entre comunidades no se vea cargada y que el cliente tengan los vídeos de manera más rápida.

Tabla 5-19 Configuración fichero nginx en servidor CDN

1	server {
2	listen 80;
3	server_name videosever.es;
4	

```

5      location ~*
      .(gif|jpg|jpeg|png|wmv|avi|mpg|mpeg|mp4|htm|html|js|css|mp3|swf
      |ico|flv)$ {
6          root /var/www/cache/;
7          expires max;
8          proxy_set_header Host $host;
9          #proxy_pass http://videoseverorig.es;
10         proxy_ignore_headers X-Accel-Expires Expires Cache-
      Control;
11         proxy_store /var/www/cache$uri;
12         proxy_store_access user:rw group:rw all:r;
13     }
14 }

```

Una vez que tenemos configurados y exportados los servidores de DNS, Vídeo y CDN debemos de comentar el archivo descriptor de dichas VNFs. En la Tabla 5-20 se muestra el VNFD del DNS donde se puede observar que se configura una interfaz, así como el *Flavor* que se necesita y el fichero de configuración Cloud-Init que permitirá añadir las rutas en el servidor DNS ejecutando el siguiente comando: `ip route add default via 130.206.8.1`.

Tabla 5-20 VNFD servidor DNS

```

1  vnfd:vnfd-catalog:
2  vnfd:
3  - id: DNS_Server_vnfd
4    name: DNS_Server_vnfd
5    short-name: DNS_Server_vnfd
6    description: Generated by OSM package generator
7    vendor: borja
8    version: '1.0'
9
10     # Place the logo as png in icons directory and
11     # logo: <update, optional>
12
13     # Management interface
14     mgmt-interface:
15         cp: cp_eth0
16
17     # Atleast one VDU need to be specified
18     vdu:
19     # Additional VDUs can be created by copying the
20     # VDU descriptor below
21     - id: DNS_Server_vnfd-VM
22       name: DNS_Server_vnfd-VM
23       description: DNS_Server_vnfd-VM
24       count: 1
25
26     # Flavour of the VM to be instantiated VDU
27     vm-flavor:
28         vcpu-count: 1
29         memory-mb: 3072
30         storage-gb: 10

```

```

31
32         # Image including the full path
33         image: 'DNS'
34
35         # Cloud init file
36         cloud-init-file: 'cloud_config_dns_server.cfg'
37         interface:
38         # Specify the external interfaces
39         # There can be multiple interfaces defined
40         -   name: eth0
41             type: EXTERNAL
42             virtual-interface:
43             type: VIRTIO
44             external-connection-point-ref: cp_eth0
45
46         connection-point:
47         -   name: cp_eth0
48             port-security-enabled: false

```

En la Tabla 5-21 podemos ver el VNFD del servidor de vídeo situado en Madrid, donde vemos los recursos que utilizará, así como que tiene una única interfaz. También utiliza el archivo de configuración Cloud-Init para la configuración de las rutas de vuelta en dicho servidor al igual que en caso del servidor de DNS.

*Tabla 5-21 VNFD servidor de Video*

```

1    vnfd:vnfd-catalog:
2        vnfd:
3        -   id: Video_Server_vnfd
4            name: Video_Server_vnfd
5            short-name: Video_Server_vnfd
6            description: Generated by OSM package generator
7            vendor: borja
8            versión: '1.0'
9
10       # Place the logo as png in icons directory
11       # logo: <update, optional>
12
13       # Management interface
14       mgmt-interface:
15       cp: cp_eth0
16
17       # Atleast one VDU need to be specified
18       vdu:
19       # Additional VDUs can be created by copying the
20       # VDU descriptor below
21       -   id: Video_Server_vnfd-VM
22           name: Video_Server_vnfd-VM
23           description: Video_Server_vnfd-VM
24           count: 1
25

```

```

26      # Flavour of the VM to be instantiated VDU
27      vm-flavor:
28          vcpu-count: 1
29          memory-mb: 3072
30          storage-gb: 15
31
32      # Image including the full path
33      image: 'VideoServer'
34
35      # Cloud init file
36      cloud-init-file: 'cloud_config_video_server.cfg'
37      interface:
38      # Specify the external interfaces
39      # There can be multiple interfaces defined
40      -   name: eth0
41          type: EXTERNAL
42          virtual-interface:
43              type: VIRTIO
44          external-connection-point-ref: cp_eth0
45
46      connection-point:
47      -   name: cp_eth0
48          port-security-enabled: false

```

Respecto a los servidores CDN, ambos tienen un VNFD similar y solo varía la dirección en las rutas de vuelta, que se configuran a través de Cloud-Init. En la Tabla 5-22 se muestra dicho archivo.

*Tabla 5-22 VNFD Servidor CDN*

```

1      vnfd:vnfd-catalog:
2      vnfd:
3      -   id: CDN_Server_vnfd
4          name: CDN_Server_vnfd
5          short-name: CDN_Server_vnfd
6          description: Generated by OSM package generator
7          vendor: borja
8          version: '1.0'
9
10     # Place the logo as png in icons directory
11     # logo: <update, optional>
12
13     # Management interface
14     mgmt-interface:
15         cp: cp_eth0
16
17     # Atleast one VDU need to be specified
18     vdu:
19     # Additional VDUs can be created by copying the
20     # VDU descriptor below
21     -   id: CDN_Server_vnfd-VM

```

```

22         name: CDN_Server_vnfd-VM
23         description: CDN_Server_vnfd-VM
24         count: 1
25
26         # Flavour of the VM to be instantiated VDU
27         vm-flavor:
28             vcpu-count: 2
29             memory-mb: 6144
30             storage-gb: 10
31
32         # Image including the full path
33         image: 'CDN'
34
35         cloud-init-file: 'cloud_config_cdn_server.cfg'
36         interface:
37             # Specify the external interfaces
38             # There can be multiple interfaces defined
39             -   name: eth0
40                 type: EXTERNAL
41                 virtual-interface:
42                     type: VIRTIO
43                     external-connection-point-ref: cp_eth0
44
45         connection-point:
46             -   name: cp_eth0

```

Con respecto a la configuración de los enrutadores de Madrid, Andalucía y Cataluña, es similar a la comentada en el caso de uso de la red virtual y solo varía en el menor número de interfaces. Como está desplegado en dos POP dividimos la red de distribución de contenidos en dos servicios de red Red\_Norte\_MEC y Red\_Sur\_MEC. En la Tabla 5-23 se muestra el NSD de la Red Norte. En las Filas 3 a 7 podemos ver que este servicio de red está formado por el VNFD del enrutador de Cataluña y por el del servidor de CDN de Cataluña, en la parte de perfiles IP (Fila 10) se describe la red de interconexión entre Madrid y Cataluña así como la red que usarán los usuarios que se encuentren en esta última comunidad. Por último, tenemos la configuración de los VLD (Fila 32) en la que definimos el direccionamiento que tendrá el servidor CDN así como el enrutador. Este servicio de red podemos verlo gráficamente en la Figura 5-17. Las VNF se encuentra en morado, los puntos de conexión en azul y los enlaces virtuales en verde.

*Tabla 5-23 NSD Zona Norte MEC*

```

1     nsd:nsd-catalog:
2     nsd:
3     - constituent-vnfd:
4       - member-vnf-index: 1
5         vnfd-id-ref: Router_Catalunia_Norte_vnf
6       - member-vnf-index: 2
7         vnfd-id-ref: CDN_Server_Norte_vnfd
8     description: Red Norte MEC
9     id: Red_Norte_MEC
10    ip-profiles:

```



```

11 - description: inter_Catalunia_Madrid_profile
12   ip-profile-params:
13     dhcp-params:
14       enabled: false
15     ip-version: ipv4
16     subnet-address: 192.168.130.36/30
17   name: inter_Catalunia_Madrid_profile
18 - description: red_catalunia_profile
19   ip-profile-params:
20     dhcp-params:
21       count: 252
22       enabled: true
23       start-address: 130.206.5.2
24     dns-server:
25       - address: 130.206.8.20
26     ip-version: ipv4
27     subnet-address: 130.206.5.1/24
28   name: red_catalunia_profile
29 name: Red_Norte_MEC
30 short-name: Red_Norte_MEC
31 version: '1.0'
32 vld:
33 - id: inter_Catalunia_Madrid
34   ip-profile-ref: inter_Catalunia_Madrid_profile
35   mgmt-network: 'false'
36   name: inter_Catalunia_Madrid
37   short-name: inter_Catalunia_Madrid
38   type: ELAN
39   vim-network-name: mgmt
40   vnfd-connection-point-ref:
41     - ip-address: 192.168.130.37
42     member-vnf-index-ref: 1
43     vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
44     vnfd-id-ref: Router_Catalunia_Norte_vnf
45 - id: red_catalunia
46   ip-profile-ref: red_catalunia_profile
47   mgmt-network: 'false'
48   name: red_catalunia
49   short-name: red_catalunia
50   type: ELAN
51   vnfd-connection-point-ref:
52     - ip-address: 130.206.5.1
53     member-vnf-index-ref: 1
54     vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
55     vnfd-id-ref: Router_Catalunia_Norte_vnf
56   - ip-address: 130.206.5.20
57     member-vnf-index-ref: 2
58     vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
59     vnfd-id-ref: CDN_Server_Norte_vnfd

```

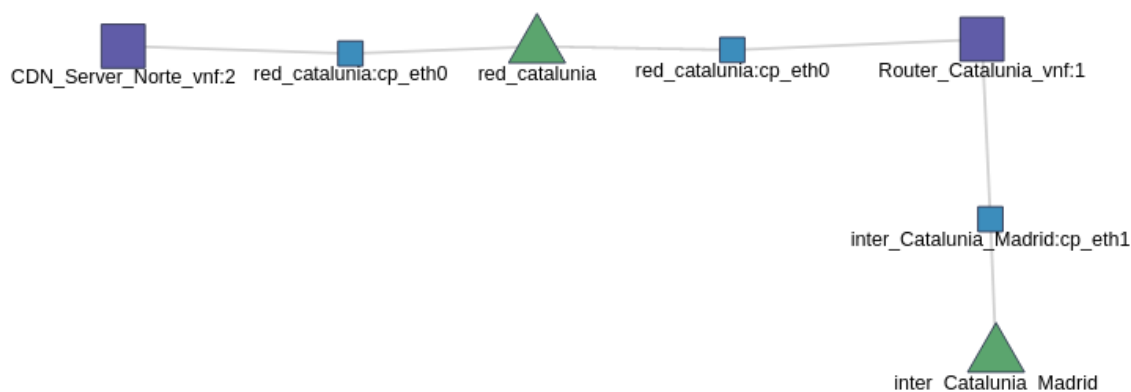


Figura 5-17 Diagrama NSD Zona Norte MEC

En la Tabla 5-24 tenemos el NSD de la Red Sur, entre las Filas 3 y 13 podemos ver que VNFD forman parte de este servicio de red que son: enrutador de Madrid, enrutador de Andalucía, servidor DNS de Madrid, servidor de vídeo de Madrid y servidor CDN de Andalucía. En la parte de perfiles IP definimos las redes de Madrid y Andalucía, así como las redes de interconexión entre Madrid y Andalucía, y entre Madrid y Cataluña. A partir de la Fila 56 definimos los enlaces virtuales, así como las direcciones IPs que tienen los servidores y las distintas interfaces de los enrutadores. Al igual que para el caso norte, en la Figura 5-18 podemos ver las VNF en morado, los puntos de conexión de cada una de ellas en azul y los enlaces virtuales en verde.

Tabla 5-24 NSD Zona Sur MEC

1	nsd:nsd-catalog:
2	nsd:
3	- constituent-vnfd:
4	- member-vnf-index: 1
5	vnfd-id-ref: Router_Madrid_MEC_vnf
6	- member-vnf-index: 2
7	vnfd-id-ref: Router_Andalucia_MEC_vnf
8	- member-vnf-index: 3
9	vnfd-id-ref: DNS_Server_vnfd
10	- member-vnf-index: 4
11	vnfd-id-ref: Video_Server_vnfd
12	- member-vnf-index: 5
13	vnfd-id-ref: CDN_Server_vnfd
14	description: Red Sur MEC
15	id: Red_Sur_MEC
16	ip-profiles:
17	- description: inter_Catalunia_Madrid_profile
18	ip-profile-params:
19	dhcp-params:
20	enabled: false
21	ip-version: ipv4
22	subnet-address: 192.168.130.36/30
23	name: inter_Catalunia_Madrid_profile
24	- description: inter_Andalucia_Madrid_profile

```

25     ip-profile-params:
26     dhcp-params:
27         enabled: false
28     ip-version: ipv4
29     subnet-address: 192.168.130.64/30
30     name: inter_Andalucia_Madrid_profile
31 - description: red_madrid_profile
32     ip-profile-params:
33     dhcp-params:
34         count: 252
35         enabled: true
36         start-address: 130.206.8.2
37     dns-server:
38     - address: 130.206.8.20
39     ip-version: ipv4
40     subnet-address: 130.206.8.1/24
41     name: red_madrid_profile
42 - description: red_andalucia_profile
43     ip-profile-params:
44     dhcp-params:
45         count: 252
46         enabled: true
47         start-address: 130.206.14.2
48     dns-server:
49     - address: 130.206.8.20
50     ip-version: ipv4
51     subnet-address: 130.206.14.1/24
52     name: red_andalucia_profile
53 name: Red_Sur_MEC
54 short-name: Red_Sur_MEC
55 version: '1.0'
56 vld:
57 - id: inter_Catalunia_Madrid
58     ip-profile-ref: inter_Catalunia_Madrid_profile
59     mgmt-network: 'false'
60     name: inter_Catalunia_Madrid
61     short-name: inter_Catalunia_Madrid
62     type: ELAN
63     vim-network-name: mgmt
64     vnfd-connection-point-ref:
65     - ip-address: 192.168.130.38
66         member-vnf-index-ref: 1
67         vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
68         vnfd-id-ref: Router_Madrid_MEC_vnf
69 - id: inter_Andalucia_Madrid
70     ip-profile-ref: inter_Andalucia_Madrid_profile
71     mgmt-network: 'false'
72     name: inter_Andalucia_Madrid
73     short-name: inter_Andalucia_Madrid
74     type: ELAN

```

```

75     vnfd-connection-point-ref:
76     - ip-address: 192.168.130.65
77       member-vnf-index-ref: 1
78       vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
79       vnfd-id-ref: Router_Madrid_MEC_vnf
80     - ip-address: 192.168.130.66
81       member-vnf-index-ref: 2
82       vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
83       vnfd-id-ref: Router_Andalucia_MEC_vnf
84   - id: red_madrid
85     ip-profile-ref: red_madrid_profile
86     mgmt-network: 'false'
87     name: red_madrid
88     short-name: red_madrid
89     type: ELAN
90     vnfd-connection-point-ref:
91     - ip-address: 130.206.8.1
92       member-vnf-index-ref: 1
93       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
94       vnfd-id-ref: Router_Madrid_MEC_vnf
95     - ip-address: 130.206.8.20
96       member-vnf-index-ref: 3
97       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
98       vnfd-id-ref: DNS_Server_vnfd
99     - ip-address: 130.206.8.10
100       member-vnf-index-ref: 4
101       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
102       vnfd-id-ref: Video_Server_vnfd
103   - id: red_andalucia
104     ip-profile-ref: red_andalucia_profile
105     mgmt-network: 'false'
106     name: red_andalucia
107     short-name: red_andalucia
108     type: ELAN
109     vnfd-connection-point-ref:
110     - ip-address: 130.206.14.1
111       member-vnf-index-ref: 2
112       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
113       vnfd-id-ref: Router_Andalucia_MEC_vnf
114     - ip-address: 130.206.14.20
115       member-vnf-index-ref: 5
116       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
117       vnfd-id-ref: CDN_Server_vnfd

```

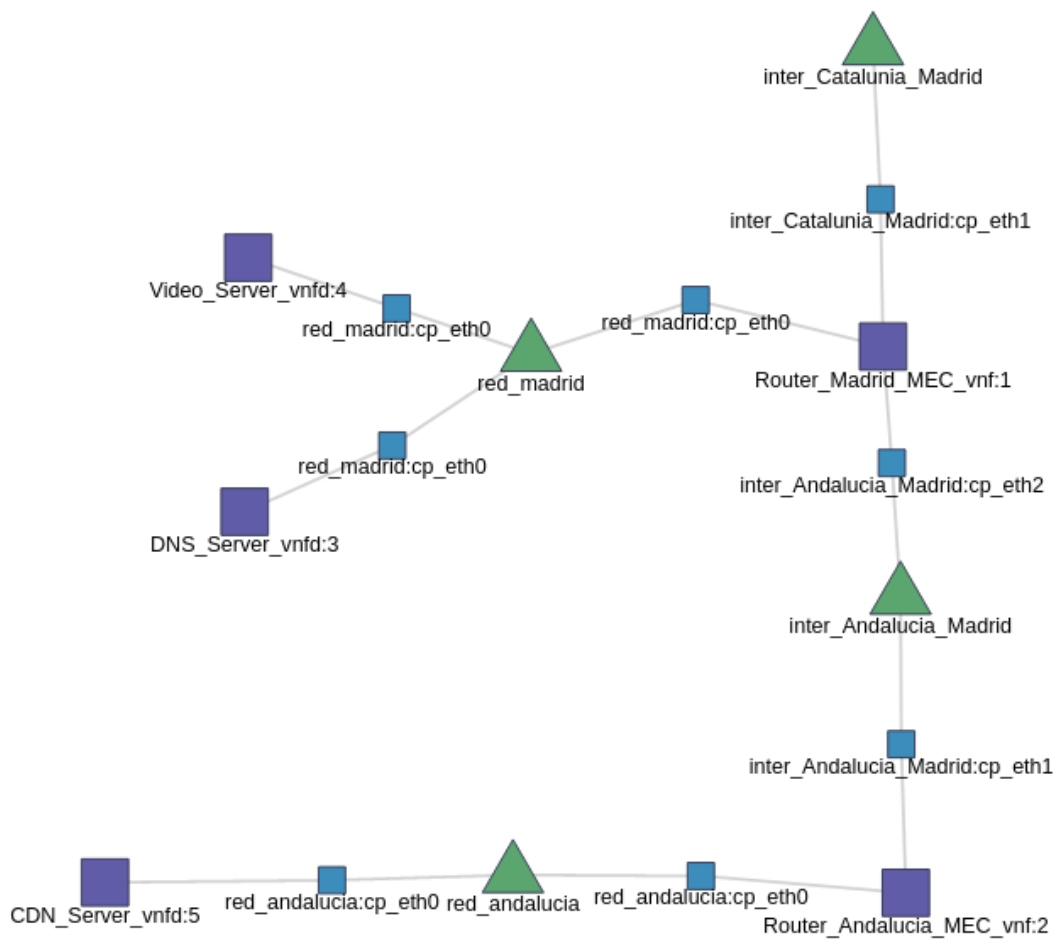


Figura 5-18 Diagrama NSD Zona Sur MEC

Una vez explicadas las distintas VNF así como los servicios de red que forma parte de esta red de distribución de contenidos, procedemos con el despliegue desde el punto de vista de Openstack. Para ello vamos a ver las redes e instancias desplegadas en ambos POP. Comenzando con el POP Norte podemos ver en la Figura 5-19 que se han desplegado dos instancias, una de ellas es el enrutador y la otra el servidor de CDN de Cataluña.

Proyecto / Compute / Instancias

Mostrando 3 artículos

ID de instancia =  Filtrar

<input type="checkbox"/>	Instance Name	Image Name	IP Address	Flavor	Key Pair	Status	Availability Zone	Task	Power State
<input type="checkbox"/>	MEC-NORTE-2-CDN-NORTE-1	CDN	130.206.5.20	DNS_Server_vnfd-VM-flv	os_manolo_key	Activo	nova	Ninguno	Corriendo
<input type="checkbox"/>	MEC-NORTE-1-1	vynos_117	mgmt 192.168.130.37 MEC-NORTE-red_catalunia 130.206.5.1	-flv	os_manolo_key	Activo	nova	Ninguno	Corriendo
<input type="checkbox"/>	TestN	citros-0.5.1-x86_64-disk	130.206.5.5	m1.tiny	-	Activo	nova	Ninguno	Corriendo

Figura 5-19 Instancias Openstack Zona Norte MEC

En la Figura 5-20 vemos las redes creadas para este despliegue que son: la red de Cataluña con el rango (130.206.5.0/24) desde donde está conectado una interfaz del enrutador así como el servidor de CDN y donde conectaremos instancias de pruebas para verificar el correcto funcionamiento del despliegue. La otra red es una subred dentro de *mgmt* que se utiliza para la comunicación entre los distintos POPs y cuyo rango es 192.168.130.36/30.



Figura 5-20 Redes Openstack Zona Norte MEC

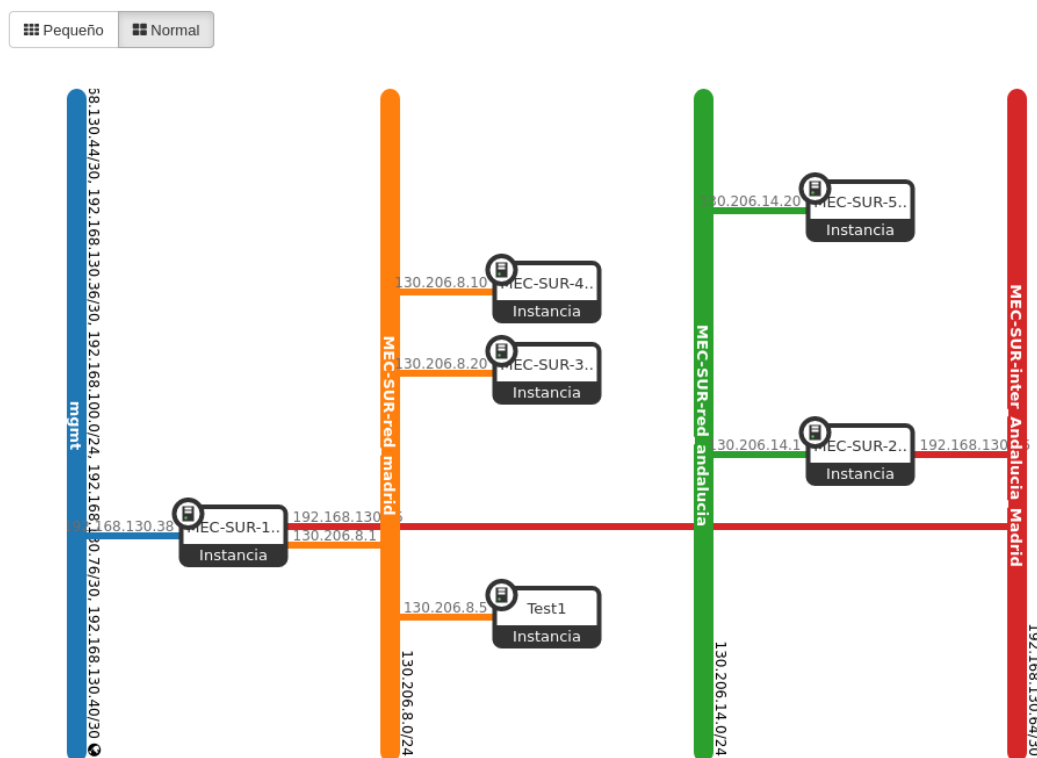
Para el POP sur tenemos la Figura 5-21 en la que se recoge las instancias desplegadas que son: enrutador de Madrid y Andalucía, servidor de vídeo y DNS de Madrid y el servidor CDN de Andalucía.

Mostrando 6 artículos

<input type="checkbox"/>	Instance Name	Image Name	IP Address	Flavor	Key Pair	Status	Availability Zone	Task	Power State
<input type="checkbox"/>	MEC-SUR-5-CDN_Server_vnfd-M-1	CDN	130.206.14.20	DNS_Server_vnfd-VM-flv	os_mano_key_openstacksur	Activo	nova	Ninguno	Corriendo
<input type="checkbox"/>	MEC-SUR-4-Video_Server_vnfd-VM-1	VideoServer	130.206.8.10	Video_Server_vnfd-VM-flv	os_mano_key_openstacksur	Activo	nova	Ninguno	Corriendo
<input type="checkbox"/>	MEC-SUR-3-DNS_Server_vnfd-M-1	DNS	130.206.8.20	DNS_Server_vnfd-VM-flv	os_mano_key_openstacksur	Activo	nova	Ninguno	Corriendo
<input type="checkbox"/>	MEC-SUR-2--1	vyos_117	MEC-SUR-red_andalucia 130.206.14.1 MEC-SUR-inter_Andalucia_Madrid 192.168.130.66	-flv	os_mano_key_openstacksur	Activo	nova	Ninguno	Corriendo
<input type="checkbox"/>	MEC-SUR-1--1	vyos_117	MEC-SUR-inter_Andalucia_Madrid 192.168.130.65 mgmt 192.168.130.38 MEC-SUR-red_madrid 130.206.8.1	-flv	os_mano_key_openstacksur	Activo	nova	Ninguno	Corriendo

Figura 5-21 Instancias Openstack Zona Sur MEC

En la Figura 5-22 tenemos la topología de red de este despliegue en el POP sur. Tenemos la red de Andalucía con direccionamiento 130.206.14.0/24, donde están conectado el servidor de CDN y el enrutador de Andalucía. Luego tenemos la red de Madrid donde están conectados los servidores de vídeo y DNS, así como el enrutador de Madrid. Por último, tenemos la red de interconexión Madrid – Andalucía, cuyo direccionamiento es 192.168.130.64/30, y la subred que comentamos anteriormente que se encuentra dentro de *mgmt* y que permite la comunicación entre distintos POPs y cuyo direccionamiento es 192.168.130.36/30.



*Figura 5-22 Redes Openstack Zona Norte MEC*

Los recursos necesarios según cada VNF se detallan en la Tabla 5-25, los servidores CDN y DNS utilizan los mismos recursos y el servidor de vídeo requiere de más almacenamiento para funcionar. Con respecto a los enrutadores, utilizan los mismos recursos que en el despliegue de la red virtual y que se corresponden con los recursos mínimos que se recomiendan para ejecutar VyOS.

*Tabla 5-25 Recursos necesarios por VNF*

Recurso	Servidor DNS	Servidor Vídeo	Servidor CDN	Enrutador
CPU	1	1	2	1
RAM	3 GB	3 GB	6 GB	0,5 GB
HDD	10 GB	15 GB	10 GB	3 GB

El despliegue en la zona norte consta de un enrutador y un servidor CDN, y la zona sur de dos enrutadores, un servidor DNS, un servidor de vídeo y un servidor CDN. Por lo tanto, los recursos necesarios para desplegar este caso de uso se detallan en la Tabla 5-26.

*Tabla 5-26 Recursos necesarios por POP y Totales para la Red MEC*

Recurso	POP NORTE	POP SUR	TOTAL
CPU	2	6	12
RAM	6,5 GB	13 GB	19,5 GB
HDD	13 GB	41 GB	54 GB

## 5.5 Costes Preliminares de los Despliegues

En esta sección vamos a realizar un estudio preliminar comparando los costes de desplegar dichos casos de uso de manera virtual frente a desplegarlos de manera física, siguiendo la metodología vista en la sección 2.5. Como hemos comentado en la sección 5.1, los recursos del host utilizado para desplegar todo el entorno son:

*Tabla 5-27 Recursos Host en Costes Preliminares*

Recurso	Cantidad
CPU	16
RAM	64 GB
HDD	500 GB

Para realizar la comparativa de la manera más justa posible, y sin tratar de introducir sesgo que favorezca a la solución virtualizada, vamos a dividir el host en dos ordenadores ya que en nuestro despliegue tenemos dos POP. Por lo tanto, debemos de analizar el coste de dos ordenadores como mínimo con los recursos recogidos en la Tabla 5-28.

*Tabla 5-28 Recursos de cada POP en Costes Preliminares*

Recurso	Cantidad
CPU	8
RAM	32 GB
HDD	250 GB

Utilizando la página web de PcComponentes [38], hemos elegido los componentes que formarán este ordenador, primero el procesador que hemos elegido ha sido un AMD Ryzen 9 de 16 núcleos, muy superior a los 8 núcleos que como mínimo necesitamos en cada POP, los recursos de RAM son los mismos que se especifican en la Tabla 5-28, el disco de almacenamiento es de 500 GB, ya que es el disco HDD con menor capacidad que podemos encontrar actualmente. Por otro lado, hemos elegido una tarjeta de red de 4 puertos a 1 Gbps cada puerto, que permitirá conectar los dos POP norte y sur, hemos elegido 4 puertos porque es el máximo número de enlaces para la comunicación entre el norte y el sur. Aun así, se podría utilizar un único enlace para esta tarea. Por último, tenemos los 4 cables Ethernet que conectarán los dos equipos.

*Tabla 5-29 Costes Hardware POP en Costes Preliminares*

Recurso	Modelo	Precio Unitario	Cantidad	Precio
CPU	AMD Ryzen 9 3950X 4.70 GHz	736,90€	1	736,90€



Placa Base	MSI X570-A Pro	158,90 €	1	158,90 €
RAM	Kingston HyperX Fury Black DDR4 3200Mhz PC-25600 16GB 2x8GB CL16	81 €	2	162 €
Ventilador CPU	Nox Hummer H-212 CPU Cooler	21,99 €	1	21,99 €
HDD	Seagate BarraCuda 2.5" 500GB SATA3	40,58 €	1	40,58 €
Caja	Nox Forte USB 3.0	22,99 €	1	22,99 €
Fuente de Alimentación	Corsair CV Series CV650 650W 80 Plus Bronze V2	59,99 €	1	59,99 €
Tarjeta de Red 4 Puetos 1 Gbps	10Gtek® Gigabit PCIE Tarjeta De Red I350-T4 - Intel I350 Chip, Quad RJ45 Ports,	116,99 €	1	116,99 €
Cable Ethernet	Startech Cable de Red RJ45 Cat 6a 7m Azul	25 €	2	50 €
			Total	1370,34 €

El coste total detallado en la Tabla 5-29 corresponde con la configuración de un ordenador. Al ser dos POP y por tanto 2 ordenadores, el coste total será de 2.740,68 € y contarán con recursos suficientes para poder instanciar el orquestador y las infraestructuras virtuales, y desplegar sobre ellas ambos casos de uso al mismo tiempo.

Si nos centramos en el caso de uso de la red virtual necesitaremos 15 enrutadores así como los cables Ethernet entre ellos. Si contamos todas las redes para los enlaces punto a punto tenemos 23, que serán el número de cables Ethernet necesarios para montar dicha red. Para ser más justos en la comparativa vamos a separar los enrutadores que necesitan 4 o menos puertos de los que necesitan entre 5 y 8 puertos. Revisando las interfaces de los enrutadores tenemos que la mayor parte de los enrutadores funcionarían con el modelo de 4 puertos a excepción de Aragón, Madrid, Valencia y Andalucía, que necesitarán del modelo de 8 puertos. En resumen, necesitaremos 15 enrutadores, de los cuales 11 son el modelo de 4 puertos y 4 el modelo de 8 puertos, y 23 cables Ethernet.

*Tabla 5-30 Costes equipamiento físico caso de uso Red Virtual*

Recurso	Modelo	Precio Unitario	Cantidad	Precio
Enrutador 4 Puertos	Ubiquiti EdgeRouter 4 Router 4 Puertos Gigabit	208,83 €	11	2.293,13€
Enrutador 8 Puertos	Cisco C891F-K9 - Router	678,99 €	4	2.715,96 €
Cable Ethernet	Startech Cable de Red RJ45 Cat 6a 7m Azul	25 €	23	575 €
			Total	5.584,09 €

La elección de estos enrutadores es debida a que son los modelos de menor precio que soportan el protocolo OSPF de enrutamiento dinámico, fundamental para los dos casos de uso. Como hemos comentado, se han elegido dos tipos de enrutadores, uno de 4 puertos y otro de 8, para así no aumentar el coste del despliegue en enrutadores que no necesitan más

de 4 puertos, el coste total se recoge en la Tabla 5-30. También se indica el número de cables Ethernet que conectarán los distintos enrutadores al igual que en la Figura 4-2.

Para el caso de uso de la red de distribución de contenidos necesitaremos 3 enrutadores de 4 puertos, ya que el diagrama de red de este caso de uso es más sencillo, junto con 4 ordenadores básicos que harán las funciones de servidor DNS, servidor de vídeo y servidor CDN. Hemos elegido 3 Switches para permitir conectar tanto los servidores como las máquinas de pruebas a la misma interfaz en el enrutador, el detalle del equipamiento se encuentra en la Tabla 5-31.

*Tabla 5-31 Costes equipamiento físico caso de uso Red MEC*

<b>Recurso</b>	<b>Modelo</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>
Enrutador 4 Puertos	Ubiquiti EdgeRouter 4 Router 4 Puertos Gigabit	208,83 €	3	629,49 €
Switch	Netgear GS308P-100PES Switch No Administrado 8 Puertos L3 Gigabit Ethernet PoE	105,34	3	316,02
PC Básico	PcCom Basic Home Intel Pentium G5400/8GB/240GBSSD	253,80 €	4	1015,2 €
Cable Ethernet	Startech Cable de Red RJ45 Cat 6a 7m Azul	25 €	7	175 €
			<b>Total</b>	<b>2.135,71 €</b>

Como en los dos casos necesitamos como mínimo dos ordenadores para realizar pruebas, suponiendo que podrían ser reutilizables en cada despliegue tendríamos que sumar a la solución física dos equipos de pruebas, que para facilitar la movilidad en la sala donde se encuentre estos despliegues podrían ser placas Raspberry. El coste de estas placas se indica en la Tabla 5-32.

*Tabla 5-32 Costes equipamiento físico máquinas de prueba*

<b>Recurso</b>	<b>Modelo</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>
Raspberry Pi	Raspberry PI 4B 8GB RAM	83,87 €	2	167,74 €

Comparando la parte virtualizada respecto a la parte física vemos que el coste de la parte física es más del doble que la virtualizada, a pesar de buscar hardware económico para evitar que haya sesgo hacia la virtualización, tal como se muestra en la Tabla 5-33. Además, se necesitará mucho más espacio para desplegar la parte física que la virtual, ya que en la parte virtualizada son dos ordenadores con sus respectivos cables de alimentación y 4 cables ethernet frente a 18 enrutadores, 30 cables ethernet, 5 ordenadores y 2 placas Raspberry Pi.

*Tabla 5-33 Comparativa solución virtualizada frente a física*

<b>Solución Virtualizada</b>	<b>Solución Física</b>
2.740,68 €	7.887,54 €

Por último, no debemos de olvidarnos que la infraestructura virtualizada puede ser utilizada para desplegar otros servicios de red con otras funciones de red distintas a las desplegadas en estos casos de uso, cosa que con la parte física implicará adquirir nuevo

equipamiento. Con respecto a los costes de operación, estos se deberán reducir por el mero hecho de que se pasaría de gestionar 25 dispositivos físicos, entre los que se incluye: enrutadores, Switches, ordenadores, a gestionar dos servidores.

## 5.6 Conclusiones

En este capítulo hemos entrado en detalle de cómo desplegar los dos casos de uso diseñados. Cómo se ha podido ver, el despliegue de los servicios de red virtuales con cierto grado de complejidad requieren de una gran cantidad de recursos, a la vez que de un orquestador que nos permita abstraernos de la infraestructura virtual sobre la que se despliega. Una parte importante de estos despliegues son la definición de los VNFD, es decir, de los descriptores de VNF y de los NSD conocidos como descriptores de servicio de red. Además, hemos visto el papel fundamental que tienen los ficheros de configuración Cloud-Init, que nos permiten adecuar la VNF sin necesidad de acceder a ella. También hemos visto como desplegar una red sobre dos POP que tiene una infraestructura virtual, consiguiendo asemejarnos a un despliegue real sobre una serie de POPs distribuidos por todo el territorio. Por último, hemos calculado el coste de los recursos hardware necesario para montar nuestro entorno virtual en dos POP y lo hemos comparado con el coste del equipamiento físico que es necesario para montar los dos casos de uso que hemos tratado en este capítulo, confirmando la mejora en costes, así como una posible reducción en el espacio ocupado para estos despliegues y en costes de operación. Una vez que tenemos desplegado el entorno y los dos casos uso, continuamos en el Capítulo 6 con las pruebas funcionales que justificarán el correcto funcionamiento de los despliegues realizados, así como una serie de medidas de rendimiento.

## 6 Pruebas

En este capítulo se va a justificar el correcto funcionamiento de los despliegues realizados mediante la realización de pruebas funcionales, continuaremos con pruebas de rendimiento y una serie de métricas donde podremos apreciar la carga de CPU en las infraestructuras virtuales, en el orquestador, así como, en el host sobre el que ejecuta todo.

### 6.1 Pruebas Funcionales

Para las pruebas funcionales empezamos con la red virtual en la cual se ha desplegado 9 enrutadores en el POP norte y 6 enrutadores en el POP sur. Una parte importante para verificar que el despliegue se ha realizado correctamente es que los enrutadores conozcan todas las rutas de la red a través de OSPF, así como que sean capaces de reconocer a todos sus vecinos (los conectados directamente a sus interfaces). En la Figura 6-1 se muestra la tabla de vecinos OSPF que tiene el enrutador de Madrid. Como podemos ver, son todas las interfaces que tienen conexión punto a punto con otros enrutadores en otras comunidades autónomas. Por ejemplo, por la interfaz 7 tiene como vecino el enrutador de Extremadura y por la interfaz 4 tiene como vecino el enrutador de Cataluña, lo que nos sirve a su vez para verificar que la comunicación entre el POP sur, donde se sitúa el enrutador de Madrid, y el POP norte, donde se sitúa el enrutador de Cataluña, funciona.

```
vyos@madrid:~$ show ip ospf neighbor
```

Neighbor	ID	Pri	State	Dead	Time	Address	Interface
RXmtL	RqstL	DBsmL					
192.168.130.70			1 Full/DR	33.809s	192.168.130.73	eth7:192.168.130.7	
4	0	0	0				
192.168.130.82			1 Full/Backup	38.318s	192.168.130.77	eth0:192.168.130.7	
8	0	0	0				
192.168.130.42			1 Full/Backup	31.416s	192.168.130.50	eth2:192.168.130.4	
9	0	0	0				
192.168.130.33			1 Full/Backup	39.208s	192.168.130.45	eth3:192.168.130.4	
6	0	0	0				
192.168.130.37			1 Full/Backup	32.959s	192.168.130.37	eth4:192.168.130.3	
8	0	0	0				
130.206.11.1			1 Full/DR	33.974s	192.168.130.93	eth5:192.168.130.9	
4	0	0	0				
192.168.130.90			1 Full/Backup	32.633s	192.168.130.66	eth6:192.168.130.6	
5	0	0	0				

Figura 6-1 Vecinos OSPF Enrutador Madrid

En las Figura 6-2, Figura 6-3, Figura 6-4 y Figura 6-5 nos encontramos la tabla de rutas que el enrutador de Madrid conoce gracias al protocolo OSPF y, como podemos observar, están todas las redes que utilizan los usuarios en las comunidades (rangos 130.206.X.X), así como los rangos que se utilizan para las conexiones punto a punto entre los distintos enrutadores (192.168.130.X).

```

===== OSPF network routing table =====
N    130.206.0.0/24      [30] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.77, eth0
N    130.206.1.0/24      [40] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.77, eth0
N    130.206.2.0/24      [50] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.45, eth3
                                via 192.168.130.77, eth0
N    130.206.3.0/24      [40] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.45, eth3
                                via 192.168.130.77, eth0
N    130.206.4.0/24      [30] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.45, eth3
N    130.206.5.0/24      [20] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.37, eth4
N    130.206.6.0/24      [20] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.45, eth3
N    130.206.7.0/24      [30] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.77, eth0
                                via 192.168.130.45, eth3
N    130.206.8.0/24      [10] area: 0.0.0.0
                                directly attached to eth1
N    130.206.9.0/24      [20] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.77, eth0

```

Figura 6-2 Tabla de Rutas OSPF Enrutador Madrid (1/4)

```

N    130.206.10.0/24     [20] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.73, eth7
N    130.206.11.0/24     [20] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.93, eth5
N    130.206.12.0/24     [20] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.50, eth2
N    130.206.13.0/24     [30] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.50, eth2
                                via 192.168.130.66, eth6
N    130.206.14.0/24     [20] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.66, eth6
N    192.168.130.0/30     [30] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.77, eth0
N    192.168.130.4/30     [30] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.77, eth0
N    192.168.130.8/30     [40] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.77, eth0
N    192.168.130.12/30    [40] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.45, eth3
                                via 192.168.130.77, eth0
N    192.168.130.16/30    [30] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.45, eth3
N    192.168.130.24/30    [20] area: 0.0.0.0
                                via 192.168.130.45, eth3

```

Figura 6-3 Tabla de Rutas OSPF Enrutador Madrid (2/4)

```

N    192.168.130.28/30    [20] area: 0.0.0.0
                               via 192.168.130.45, eth3
N    192.168.130.32/30    [20] area: 0.0.0.0
                               via 192.168.130.45, eth3
                               via 192.168.130.37, eth4
N    192.168.130.36/30    [10] area: 0.0.0.0
                               directly attached to eth4
N    192.168.130.40/30    [20] area: 0.0.0.0
                               via 192.168.130.50, eth2
                               via 192.168.130.37, eth4
N    192.168.130.44/30    [10] area: 0.0.0.0
                               directly attached to eth3
N    192.168.130.48/30    [10] area: 0.0.0.0
                               directly attached to eth2
N    192.168.130.52/30    [20] area: 0.0.0.0
                               via 192.168.130.50, eth2
                               via 192.168.130.66, eth6
N    192.168.130.56/30    [20] area: 0.0.0.0
                               via 192.168.130.50, eth2
N    192.168.130.60/30    [20] area: 0.0.0.0
                               via 192.168.130.66, eth6
N    192.168.130.64/30    [10] area: 0.0.0.0
                               directly attached to eth6
N    192.168.130.68/30    [20] area: 0.0.0.0

```

Figura 6-4 Tabla de Rutas OSPF Enrutador Madrid (3/4)

```

N    192.168.130.72/30    [10] area: 0.0.0.0
                               directly attached to eth7
N    192.168.130.76/30    [10] area: 0.0.0.0
                               directly attached to eth0
N    192.168.130.80/30    [20] area: 0.0.0.0
                               via 192.168.130.77, eth0
N    192.168.130.84/30    [20] area: 0.0.0.0
                               via 192.168.130.77, eth0
N    192.168.130.88/30    [20] area: 0.0.0.0
                               via 192.168.130.93, eth5
                               via 192.168.130.66, eth6
N    192.168.130.92/30    [10] area: 0.0.0.0
                               directly attached to eth5

```

Figura 6-5 Tabla de Rutas OSPF Enrutador Madrid (4/4)

Con esto, verificamos que el despliegue de la red se ha realizado correctamente. Además de esto, utilizaremos *traceroute* para verificar los saltos entre varios enrutadores. En la Figura 6-6 tenemos un *traceroute* hacia una máquina de test con dirección IP 130.206.14.130 que se encuentra en Andalucía desde una máquina de test situada en Madrid. Como podemos ver el primer salto es hacia el *Gateway* que es la interfaz del enrutador de Madrid que conecta la red 130.206.8.0/24, tras esto el enrutador de Madrid lo envía hacia la interfaz del enrutador de Andalucía con el cual tienen un enlace punto a punto y su dirección IP es 192.168.130.66. Por último, el enrutador de Andalucía lo envía a la máquina de prueba, ya que el rango 130.206.14.0/24 se encuentra en una interfaz de dicho enrutador.

```

$ traceroute 130.206.14.130
traceroute to 130.206.14.130 (130.206.14.130), 30 hops max, 46 byte packets
 1  130.206.8.1 (130.206.8.1)  7.521 ms  3.024 ms  1.278 ms
 2  192.168.130.66 (192.168.130.66)  5.372 ms  5.376 ms  3.140 ms
 3  130.206.14.130 (130.206.14.130)  9.585 ms  7.326 ms  2.972 ms

```

Figura 6-6 Traceroute Madrid – Andalucía.

En la Figura 6-7 se muestra las rutas entre el enrutador de Murcia y el de Madrid. Primero, la máquina de test va al *Gateway* de Murcia, que es la 130.206.13.1, y tras esto tenemos dos opciones: ir a Andalucía saltando a la interfaz 192.168.130.62 de Andalucía o ir a Valencia saltando a la interfaz con dirección IP 192.168.130.57. Si vamos por Andalucía saltaríamos a la interfaz de Madrid con direccionamiento 192.168.130.65 y si vamos por Valencia saltaríamos hacia la interfaz de Madrid con la dirección 192.168.130.49. Tras esto llegaríamos a la máquina de test situada en Madrid con dirección IP 130.206.8.9.

```
$ traceroute 130.206.8.9
traceroute to 130.206.8.9 (130.206.8.9), 30 hops max, 46 byte packets
 1 130.206.13.1 (130.206.13.1) 3.421 ms 1.254 ms 0.890 ms
 2 192.168.130.62 (192.168.130.62) 2.902 ms 2.997 ms 192.168.130.57 (192.168.130.57) 2.206 ms
 3 192.168.130.49 (192.168.130.49) 6.356 ms 6.039 ms 192.168.130.65 (192.168.130.65) 3.056 ms
 4 130.206.8.9 (130.206.8.9) 7.550 ms 6.341 ms 4.328 ms
```

*Figura 6-7 Traceroute Murcia - Madrid.*

En la Figura 6-8 tenemos el recorrido entre Murcia y Aragón. Primero saltaríamos al *Gateway* de Murcia. Tras esto, pasaríamos por Andalucía o Valencia para llegar a Madrid. Una vez en Madrid pasamos a Aragón a través del enlace punto a punto, llegando a la interfaz de Aragón con dirección 192.168.130.45. Por último, desde Aragón llegamos a la máquina de prueba con IP 130.206.6.131.

```
$ traceroute 130.206.6.131
traceroute to 130.206.6.131 (130.206.6.131), 30 hops max, 46 byte packets
 1 130.206.13.1 (130.206.13.1) 5.862 ms 1.681 ms 0.833 ms
 2 192.168.130.57 (192.168.130.57) 1.923 ms 192.168.130.62 (192.168.130.62) 2.625 ms
 3 192.168.130.65 (192.168.130.65) 4.623 ms 192.168.130.49 (192.168.130.49) 3.336 ms
 4 192.168.130.33 (192.168.130.33) 12.783 ms 192.168.130.45 (192.168.130.45) 8.411 ms
 5 130.206.6.131 (130.206.6.131) 12.293 ms 11.802 ms 7.330 ms
```

*Figura 6-8 Traceroute Murcia - Aragón.*

En la Figura 6-9 vemos los saltos necesarios para llegar desde Murcia a Galicia, la parte hasta Madrid es idéntica a las anteriores, con lo que podemos llegar a Madrid a través de Andalucía o Valencia. Una vez en Madrid saltamos a Castilla y León, llegando a la interfaz con dirección 192.168.130.77, y desde Castilla y León llegamos a Galicia a través del enlace punto a punto cuya interfaz en Galicia es la 192.168.130.86. Una vez en Galicia llegamos a la máquina de prueba con dirección IP 130.206.0.138 conectada a la interfaz 130.206.0.1 del enrutador de Galicia.

```
$ traceroute 130.206.0.138
traceroute to 130.206.0.138 (130.206.0.138), 30 hops max, 46 byte packets
 1 130.206.13.1 (130.206.13.1) 2.571 ms 2.231 ms 1.005 ms
 2 192.168.130.62 (192.168.130.62) 2.245 ms 192.168.130.57 (192.168.130.57) 3.969 ms
 3 192.168.130.49 (192.168.130.49) 11.398 ms 192.168.130.65 (192.168.130.65) 4.579 ms
 4 192.168.130.77 (192.168.130.77) 10.386 ms 7.460 ms 5.663 ms
 5 192.168.130.86 (192.168.130.86) 10.409 ms 11.625 ms 5.796 ms
 6 130.206.0.138 (130.206.0.138) 12.116 ms 10.758 ms 7.957 ms
```

*Figura 6-9 Traceroute Murcia - Galicia.*

En la Figura 6-10 se muestra el recorrido para llegar desde Murcia a Asturias, la primera parte de este recorrido es igual que para el caso de Galicia, es decir, ir a Madrid por Andalucía o Valencia pasar a Castilla y León, y por último, llegar a Galicia. Una vez en Galicia saltamos a Asturias hacia la interfaz 192.168.130.2 que tiene el enrutador de Asturias y forma parte del enlace punto a punto entre Galicia y Asturias.

```
$ traceroute 130.206.1.32
traceroute to 130.206.1.32 (130.206.1.32), 30 hops max, 46 byte packets
 1 130.206.13.1 (130.206.13.1) 2.481 ms 2.369 ms 0.819 ms
 2 192.168.130.62 (192.168.130.62) 2.462 ms 192.168.130.57 (192.168.130.57)
8.190 ms 192.168.130.62 (192.168.130.62) 4.621 ms
 3 192.168.130.49 (192.168.130.49) 4.180 ms 192.168.130.65 (192.168.130.65)
6.530 ms 192.168.130.49 (192.168.130.49) 3.931 ms
 4 192.168.130.77 (192.168.130.77) 6.095 ms 6.877 ms 4.270 ms
 5 192.168.130.86 (192.168.130.86) 5.507 ms 12.663 ms 6.186 ms
 6 192.168.130.2 (192.168.130.2) 11.419 ms 11.626 ms 6.404 ms
 7 130.206.1.32 (130.206.1.32) 31.545 ms 10.591 ms 6.274 ms
```

*Figura 6-10 Traceroute Murcia - Asturias.*

En la Figura 6-11 vemos el camino a seguir para llegar desde Murcia a Cantabria. Este camino es el que tiene mayores saltos de toda la red virtual. Desde la máquina de test saltamos al *Gateway* de Murcia, luego podemos ir por Valencia hacia la dirección IP 192.168.130.57 o Andalucía hacia la interfaz con dirección 192.168.130.62. Tras esto, si vamos por Valencia saltamos a Cataluña a la interfaz 192.168.130.41 y si vamos por Andalucía saltamos a Madrid hacia la interfaz 192.168.130.65. Si estamos en Madrid saltamos a Castilla y León a la interfaz 192.168.130.77 o a Aragón saltando a la interfaz 192.168.130.45. Por otro lado si estamos de Cataluña saltamos a Aragón a través de la interfaz 192.168.130.33. Si saltamos a Aragón pasamos a Navarra a través de la dirección IP 192.168.130.25 para después saltar a la interfaz 192.168.130.17 del enrutador del País Vasco para llegar a la interfaz del enrutador de Cantabria con IP 192.168.130.13 y finalmente, llegar a la otra máquina de test con dirección 130.206.2.105. Si vamos por Castilla y León deberemos de saltar a la interfaz del enrutador de Galicia con dirección IP 192.168.130.86 para después saltar hacia Asturias, concretamente hacia la dirección IP 192.168.130.2, y por último, llegar al enrutador de Cantabria.

```
$ traceroute 130.206.2.105
traceroute to 130.206.2.105 (130.206.2.105), 30 hops max, 46 byte packets
 1 130.206.13.1 (130.206.13.1) 1.795 ms 2.106 ms 1.348 ms
 2 192.168.130.57 (192.168.130.57) 3.151 ms 192.168.130.62 (192.168.130.62)
3.763 ms 192.168.130.57 (192.168.130.57) 3.229 ms
 3 192.168.130.65 (192.168.130.65) 5.253 ms 192.168.130.41 (192.168.130.41)
6.932 ms 192.168.130.65 (192.168.130.65) 3.735 ms
 4 192.168.130.45 (192.168.130.45) 7.844 ms 192.168.130.77 (192.168.130.77)
6.414 ms 192.168.130.33 (192.168.130.33) 8.766 ms
 5 192.168.130.25 (192.168.130.25) 17.700 ms 192.168.130.86 (192.168.130.86)
9.824 ms 192.168.130.25 (192.168.130.25) 9.144 ms
 6 192.168.130.17 (192.168.130.17) 18.253 ms 192.168.130.2 (192.168.130.2) 1
0.630 ms 192.168.130.17 (192.168.130.17) 11.770 ms
 7 192.168.130.13 (192.168.130.13) 19.205 ms 12.704 ms 9.167 ms
 8 130.206.2.105 (130.206.2.105) 34.121 ms 16.197 ms 13.382 ms
```

*Figura 6-11 Traceroute Murcia - Cantabria.*



Para la red de distribución de contenidos vamos a verificar la resolución DNS según donde se encuentre la máquina de prueba, así como que es posible descargar el vídeo de pruebas, llamado Video4k.mp4, desde los servidores CDN o desde el servidor de vídeo.

Primero, empezamos colocando una máquina de pruebas en la Red de Andalucía. Esta red tiene como rango de direcciones la 130.206.14.0/24 y como podemos ver en la Figura 6-12, donde se muestra el *ifconfig* de nuestra máquina de prueba, la dirección que tiene asignada es la 130.206.14.5. En la Figura 6-13 realizamos *nslookup* a los dominios videosever.es y videoseverorig.es para verificar la resolución DNS, que como podemos comprobar es correcta, videosever.es resuelve hacia la IP 130.206.14.20 que es el servidor CDN en Andalucía y el dominio videoseverorig.es resuelve hacia el servidor original cuya dirección IP es la 130.206.8.10.

```
$ ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr FA:16:3E:D0:0A:4E
          inet addr:130.206.14.5  Bcast:130.206.14.255  Mask:255.255.255.0
          inet6 addr: fe80::f816:3eff:fed0:a4e/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1450  Metric:1
          RX packets:3  errors:0  dropped:0  overruns:0  frame:0
          TX packets:8  errors:0  dropped:0  overruns:0  carrier:0
          collisions:0  txqueuelen:1000
          RX bytes:805 (805.0 B)  TX bytes:1202 (1.1 KiB)

lo        Link encap:Local Loopback
          inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
          inet6 addr: ::1/128 Scope:Host
          UP LOOPBACK RUNNING  MTU:65536  Metric:1
          RX packets:0  errors:0  dropped:0  overruns:0  frame:0
          TX packets:0  errors:0  dropped:0  overruns:0  carrier:0
          collisions:0  txqueuelen:1000
          RX bytes:0 (0.0 B)  TX bytes:0 (0.0 B)

$
```

Figura 6-12 Ifconfig máquina de prueba en Andalucía MEC.

```
$ nslookup videosever.es
Server:      130.206.8.20
Address:     130.206.8.20:53

Name:   videosever.es
Address: 130.206.14.20

^C
$ nslookup videoseverorig.es
Server:      130.206.8.20
Address:     130.206.8.20:53

Name:   videoseverorig.es
Address: 130.206.8.10

^C
```

Figura 6-13 nslookup máquina de prueba en Andalucía MEC.

Para finalizar la prueba en Andalucía procedemos a descargar el fichero de vídeo que usamos para las pruebas, verificando que se descarga correctamente tal como se muestra en la Figura 6-14.

```
$ wget videosever.es/wp-content/uploads/2020/10/Video4k.mp4
Connecting to videosever.es (130.206.14.20:80)
Video4k.mp4 100% |*****| 58.4M 0:00:00 ETA
$
```

Figura 6-14 Descarga de vídeo máquina de prueba en Andalucía MEC.

Tras verificar que el despliegue en Andalucía es correcto procedemos con el despliegue realizado en Madrid, situamos una máquina de prueba con la dirección IP 130.206.8.5, tal como muestra en la Figura 6-15.

```
$ ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr FA:16:3E:B4:C0:C3
          inet addr:130.206.8.5  Bcast:130.206.8.255  Mask:255.255.255.0
          inet6 addr: fe80::f816:3eff:feb4:c0c3/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1450  Metric:1
          RX packets:2407 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:1761 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:61482958 (58.6 MiB)  TX bytes:117111 (114.3 KiB)

lo        Link encap:Local Loopback
          inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
          inet6 addr: ::1/128 Scope:Host
          UP LOOPBACK RUNNING  MTU:65536  Metric:1
          RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:0 (0.0 B)  TX bytes:0 (0.0 B)
```

Figura 6-15 Ifconfig máquina de prueba en Madrid MEC.

También verificamos que la resolución DNS en Madrid sea correcta. Como podemos ver en la Figura 6-16, videosever.es resuelve hacia la dirección IP 130.206.8.10, que es el servidor de vídeo situado en Madrid, y videoseverorig.es también resuelve hacia la misma dirección. Por último, nos descargamos el vídeo, que en este caso procederá del servidor de vídeo original, para verificar que todo funciona correctamente, esto se encuentra en la Figura 6-17.

```
$ nslookup videosever.es
Server:      130.206.8.20
Address:     130.206.8.20:53

Name:   videosever.es
Address: 130.206.8.10

^C
$ nslookup videoseverorig.es
Server:      130.206.8.20
Address:     130.206.8.20:53

Name:   videoseverorig.es
Address: 130.206.8.10
```

Figura 6-16 nslookup máquina de prueba en Madrid MEC.

```
$ wget videosever.es/wp-content/uploads/2020/10/Video4k.mp4
Connecting to videosever.es (130.206.8.10:80)
Video4k.mp4      100% |*****| 58.4M  0:00:00 ETA
$ _
```

Figura 6-17 Descarga de vídeo máquina de prueba en Madrid MEC.

Por último, situaremos la máquina de prueba de Cataluña para verificar el despliegue en el POP Norte. Como podemos observar en la Figura 6-18 la dirección asignada a la máquina virtual es la 130.206.5.5, perteneciente al rango asociado a Cataluña, que es el 130.206.5.0/24. Al realizar *nslookup*, tal como muestra en la Figura 6-19, vemos que la resolución DNS es correcta, ya que videosever.es se resuelve hacia la dirección IP 130.206.5.20, que es el servidor CDN en Cataluña, y videoseverorig.es resuelve hacia la dirección IP 130.206.8.10, que es el servidor de vídeo original situado en Madrid.

```
$ ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr FA:16:3E:7F:22:FA
          inet addr:130.206.5.5  Bcast:130.206.5.255  Mask:255.255.255.0
          inet6 addr: fe80::f816:3eff:fe7f:22fa/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1450  Metric:1
          RX packets:8375 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:5928 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:184629438 (176.0 MiB)  TX bytes:392597 (383.3 KiB)

lo        Link encap:Local Loopback
          inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
          inet6 addr: ::1/128 Scope:Host
          UP LOOPBACK RUNNING  MTU:65536  Metric:1
          RX packets:2 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:2 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:176 (176.0 B)  TX bytes:176 (176.0 B)
```

Figura 6-18 Ifconfig máquina de prueba en Cataluña MEC.

```
$ nslookup videosever.es
Server:      130.206.8.20
Address:     130.206.8.20:53

Name:   videosever.es
Address: 130.206.5.20

^[[A^C
$ nslookup videoseverorig.es
Server:      130.206.8.20
Address:     130.206.8.20:53

Name:   videoseverorig.es
Address: 130.206.8.10
```

Figura 6-19 nslookup máquina de prueba en Cataluña MEC.

Como en los casos anteriores probamos a descargar el vídeo para verificar que todo funciona correctamente, como vemos en la Figura 6-20.

```
$ wget videosever.es/wp-content/uploads/2020/10/Video4k.mp4
Connecting to videosever.es (130.206.5.20:80)
Video4k.mp4      100% |*****| 58.4M  0:00:00 ETA
$ _
```

Figura 6-20 Descarga de vídeo máquina de prueba en Cataluña MEC.

## 6.2 Uso CPU y tiempos en Despliegue

En esta sección vamos a ver los tiempos del despliegue de los dos casos de uso, así como el uso de CPU en las distintas máquinas. Empezamos con el despliegue de la Red Virtual y como se puede observar en la Figura 6-21, el tiempo de despliegue no varía sustancialmente entre iteraciones. Este tiempo es de 13 minutos y 30 segundos, y es el necesario para desplegar la red y que esté en funcionamiento, es decir, que toda la red sea capaz de responder a *ping*.

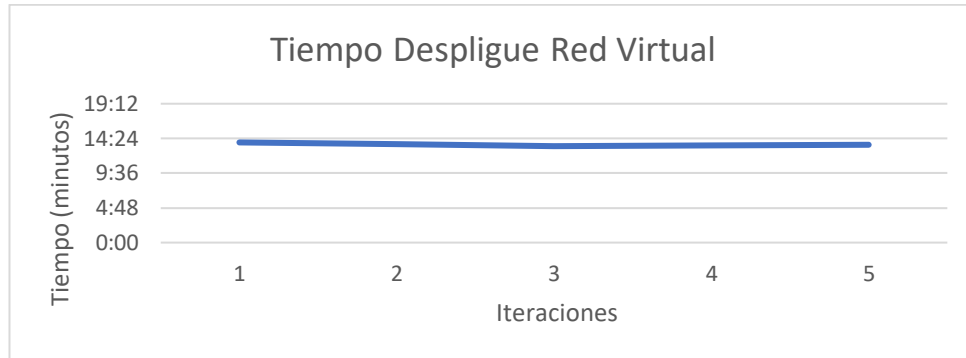


Figura 6-21 Tiempo de despliegue de la red virtual.

Antes de comentar el uso de CPU, vamos a repasar los recursos que tienen tanto el host como las máquinas virtuales sobre las que están desplegados el orquestador así como las dos infraestructuras virtuales. Los recursos se recogen en la Tabla 6-1, y se puede ver como ambos Openstack tienen los mismos recursos y que la suma de recursos no superan los que tienen el Host. Como comentamos al principio de esta memoria, llamamos Host a la máquina Ubuntu instanciada sobre VMware que tiene instalado VirtualBox, que es sobre donde se despliegan los Openstack y el Orquestador.

Tabla 6-1 Recursos entorno desplegado.

Recurso	Host	OS MANO	Openstack Norte	Openstack Sur
CPU	16	2	6	6
RAM	64 GB	8 GB	24 GB	24 GB
HDD	500 GB	64 GB	60 GB	60 GB

En la Figura 6-22 se muestra el uso de CPU, medido mediante la herramienta *mpstat*. En gris tenemos el uso del host, en verde el uso de la infraestructura Openstack situada en el POP Norte, en naranja el uso de la infraestructura del POP Sur y, por último, en azul tenemos el uso de CPU del orquestador OS MANO. Al comienzo del despliegue podemos ver que el uso de CPU en Openstack Norte aumenta antes que en Openstack Sur. Esto es debido a que para el despliegue es necesario crear la instancia NS en el orquestador y primero se hace sobre Openstack Norte. Tras esto, ambas infraestructuras empiezan a aumentar el uso de CPU hasta llegar en torno al 100%. Primero se produce un descenso de uso de CPU en Openstack Sur porque en esta zona el número de enrutadores a desplegar es menor, concretamente 6 frente a 9 de Openstack Norte. Una vez que se ha desplegado totalmente, en torno al segundo 790 vemos que el consumo de CPU se reduce drásticamente, ya que a partir de ese momento el consumo de recursos lo realizan los enrutadores y ya no la infraestructura que estaba desplegando las instancias. Con respecto al orquestador, se observan picos muy cortos de uso de CPU provenientes de las acciones que realiza sobre las

distintas infraestructuras. Por último, el consumo de uso de CPU en el host aumenta según aumenta su uso en las distintas máquinas virtuales, pero rara vez supera el 90%, ya que como hemos comentado, la asignación de recursos en las máquinas virtuales es menor que los recursos que tiene el propio host.

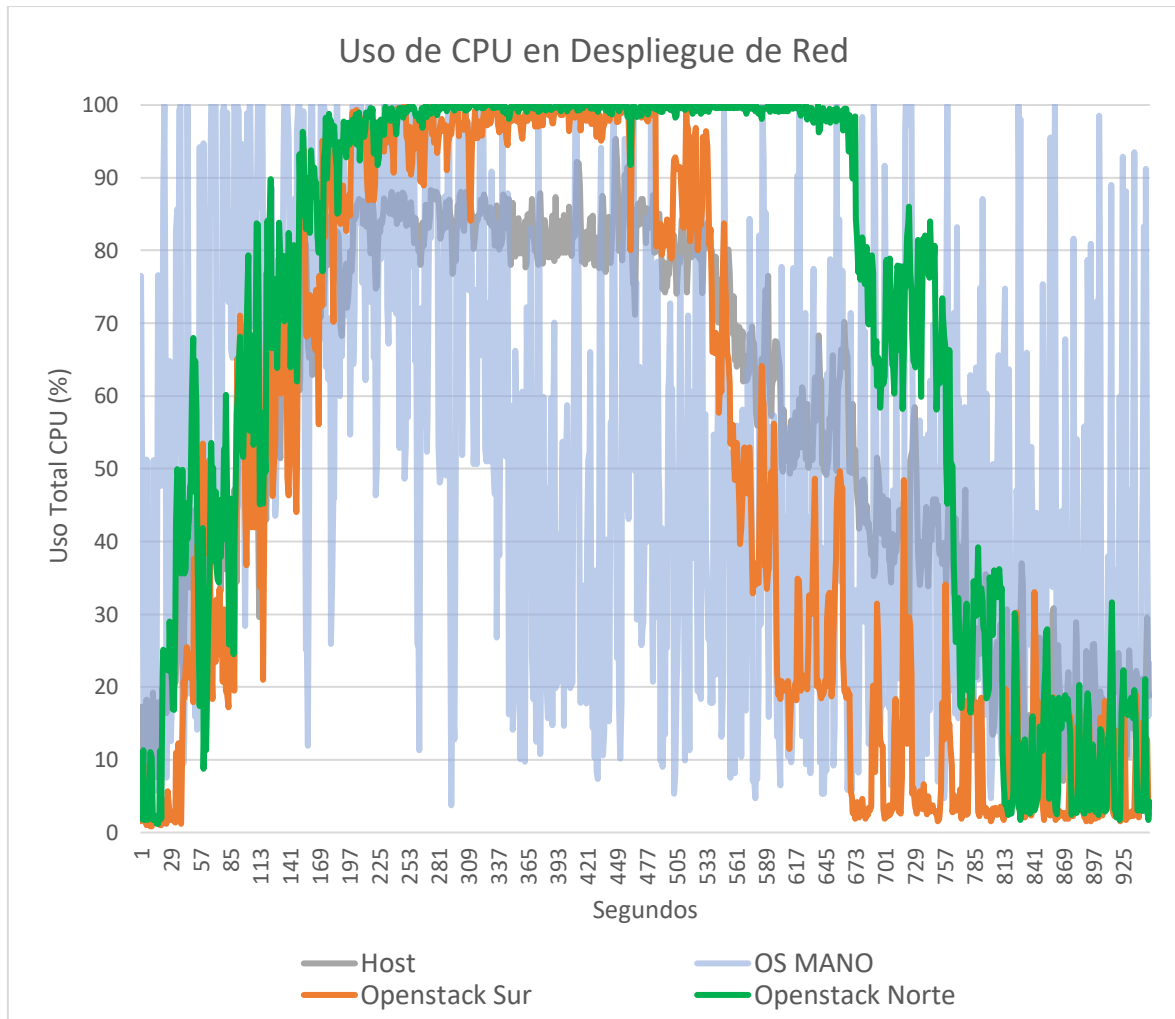


Figura 6-22 Uso de CPU en el despliegue de la red virtual.

Por otro lado, tenemos el despliegue de la red de distribución de contenidos. Tal como se observa en la Figura 6-23, el tiempo de despliegue está entorno a los 5 minutos y 22 segundos. Como en el caso anterior, es el tiempo que requiere para que la red esté desplegada y funcionando, es decir, que todas las funciones de red desplegadas respondan a *ping*.

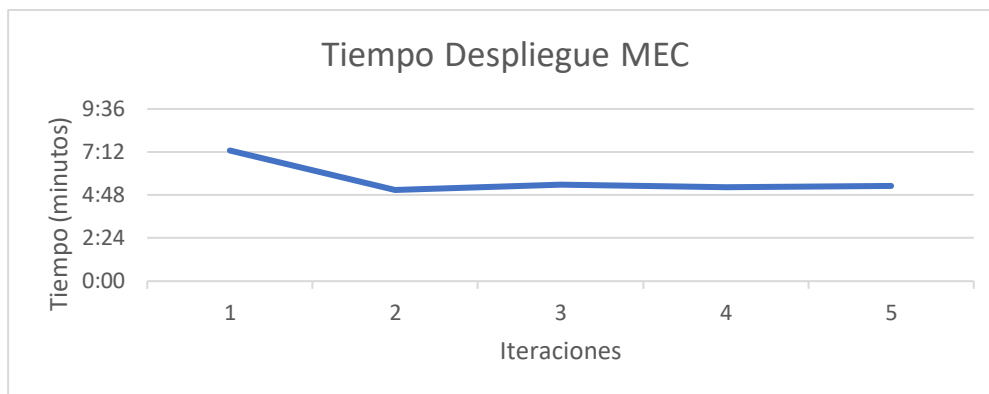


Figura 6-23 Tiempo de despliegue de la red de distribución de contenidos.

Con respecto al uso de CPU en este despliegue, que se muestra en la Figura 6-24 y que se ha medido mediante la herramienta *mpstat*, destaca la gran diferencia entre Openstack Norte y Openstack Sur. Esto es debido a que en la zona sur se despliegan más VNFs, concretamente: enrutador de Madrid y Andalucía, servidor de vídeo de Madrid, servidor DNS de Madrid y servidor CDN de Andalucía, frente a las VNFs desplegadas en la zona norte que serían el enrutador de Cataluña, así como el servidor CDN. Mirando el uso de CPU del orquestador OS MANO puede parecer que tienen un consumo alto de recursos, pero se debe de recordar que a esta máquina solo se le han asignado dos CPUs frente a las 6 asignadas a las infraestructuras o las 16 que tiene el host.

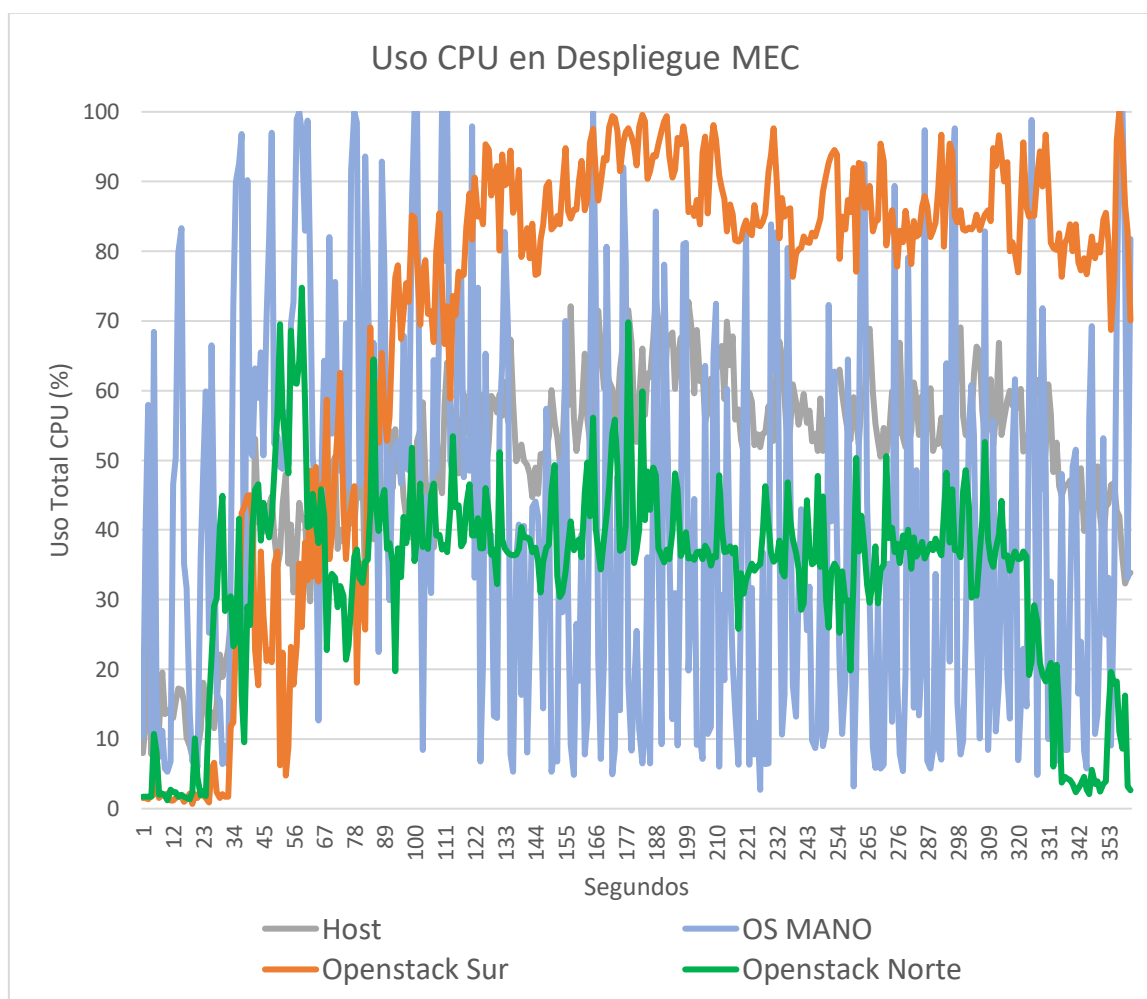


Figura 6-24 Uso de CPU en el despliegue de la red de distribución de contenidos.

## 6.3 Pruebas Rendimiento

Para las pruebas de rendimiento en el caso de uso de la red virtual se ha decidido representar la latencia (RTT) que sufre la red según aumenta el número de enrutadores por los que se debe pasar y el ancho de banda. En la Figura 6-25 vemos que, según se aumenta el número de enrutadores que se deben pasar, aumenta la latencia. A pesar de esto, la latencia que se muestra es considerablemente alta para encontrarse todo sobre la misma máquina *Host*. En la Figura 6-26 se muestra el ancho de banda, que se reduce según se atraviesa más enrutadores. Esto puede ser en parte debido a la alta latencia experimentada, que impida el envío continuo al cerrarse la ventana de emisión. Para realizar las medidas de latencia se utilizó *ping* y para medir el ancho de banda se utilizó *Iperf3*.

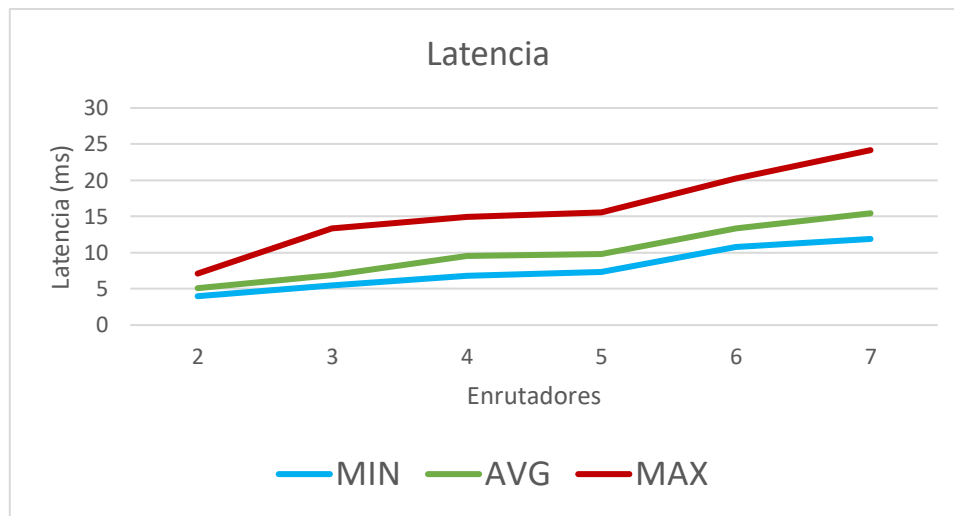


Figura 6-25 Latencia (RTT) en ms respecto al número de enrutadores por los que se transita.

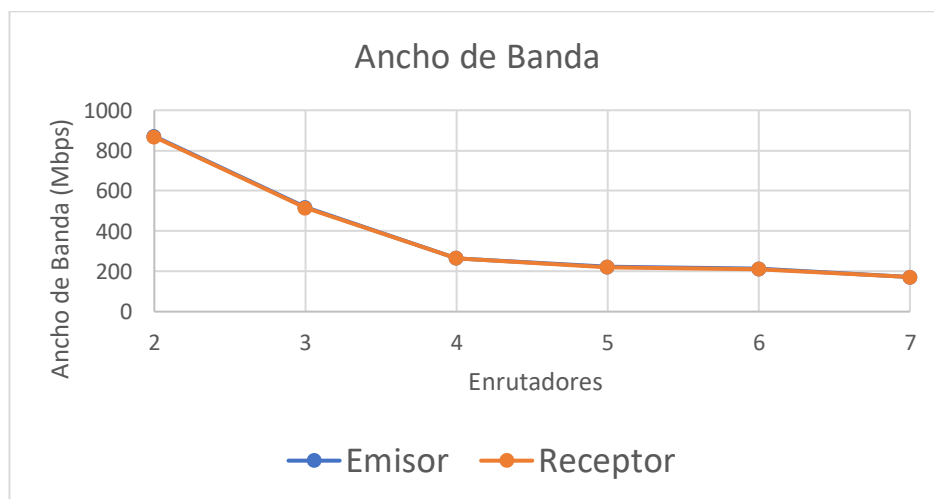


Figura 6-26 Ancho de banda en Mbps respecto al número de enrutadores por los que se transita.

Dado que en las pruebas se ha reflejado una latencia considerable, vamos a analizar el posible motivo de dichas latencias. Primero, vamos a repasar el entorno desplegado para este TFM que se recoge en la Figura 6-27. Tenemos el *host* sobre el que están desplegadas todas las infraestructuras y el orquestador, que sería la máquina Ubuntu desplegada sobre VMware; tras esto tenemos Virtualbox, que proporcionará los recursos del *host* para las máquinas virtuales POP norte, POP sur y orquestador. Estas máquinas tienen como sistema

operativo Ubuntu y es sobre este donde se despliegan los Openstack y el orquestador OS MANO, por lo que a priori la merma del rendimiento parece debido al gran número de capas y entornos de virtualización sobre el que está este trabajo desplegado.

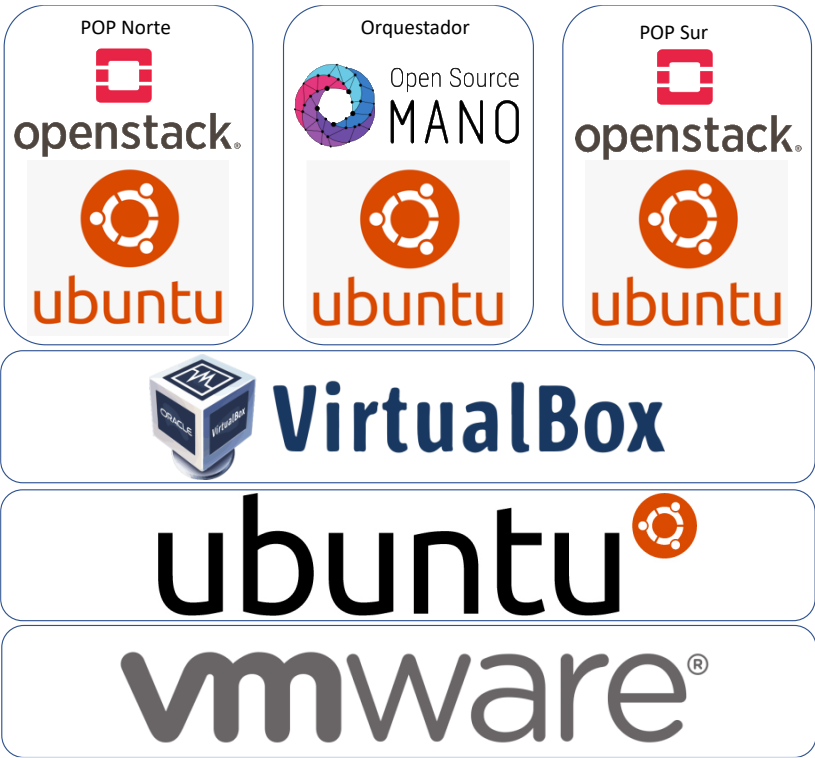


Figura 6-27 Entorno desplegado por capas.

Si nos fijamos en la Tabla 6-2, podemos ver que, según subimos en las capas de este entorno, la latencia entre dos máquinas, de la misma capa, aumenta.

Tabla 6-2 Latencia entre dos máquinas en cada capa de virtualización.

Capas de Virtualización	MIN	AVG	MAX
Vmware/Ubuntu/VirtualBox/Ubuntu	0,559 ms	0,7 ms	1,288 ms
Vmware/Ubuntu/VirtualBox/Ubuntu/Openstack/VyOS	1,104 ms	1,556 ms	2,364 ms
Vmware/Ubuntu/VirtualBox/Ubuntu/Openstack/cirros	1,568 ms	2,025 ms	2,674 ms

En la Tabla 6-3 tenemos la latencia que se realiza sobre la misma máquina (127.0.0.1) en cada una de las capas. Y al igual que en la Tabla 6-2, según se va aumentando de capa de virtualización, la latencia aumenta. Esto confirma como posible causa el que la latencia sea tan alta.

Tabla 6-3 Latencia en la misma máquina (ping 127.0.0.1) en cada capa de virtualización.

Capas de Virtualización	MIN	AVG	MAX
Vmware/Ubuntu	0,038 ms	0,049 ms	0,059 ms
Vmware/Ubuntu/VirtualBox/Ubuntu	0,023 ms	0,042 ms	0,062 ms
Vmware/Ubuntu/VirtualBox/Ubuntu/Openstack/VyOS	0,333 ms	0,466 ms	1,05 ms
Vmware/Ubuntu/VirtualBox/Ubuntu/Openstack/cirros	0,355 ms	0,55 ms	3,082 ms



Respecto al caso de uso de la red de distribución de contenidos, hemos desplegado una máquina de prueba en Cataluña y hemos realizado la comparativa entre el CDN de Cataluña y el servidor de vídeo situado en Madrid. Al estar el servidor CDN más cerca de la máquina de pruebas es de esperar que se obtengan mejores resultados. Para eso se ha medido el tiempo de respuesta del servidor de vídeo así como la tasa de descarga. Para ello se ha utilizado la herramienta JMeter, cuya plantilla de test se detalla en el Anexo B.

Como podemos ver en la Figura 6-28, la latencia del CDN respecto al servidor de vídeo es en la mayoría de los casos menor, concretamente el valor medio del tiempo de respuesta del servidor CDN es 100,39 ms frente a los 112,12 ms del servidor de vídeo. Esto se justifica porque al acceder al CDN en Cataluña evitamos la latencia que se añade al pasar por los enrutadores de Cataluña y Madrid. También, vemos que el número de veces que el vídeo es descargado es mayor que en el servidor de vídeo, siendo el tiempo de la prueba el mismo para ambos casos. Esto nos adelanta que la tasa de transferencia es mayor en la CDN.

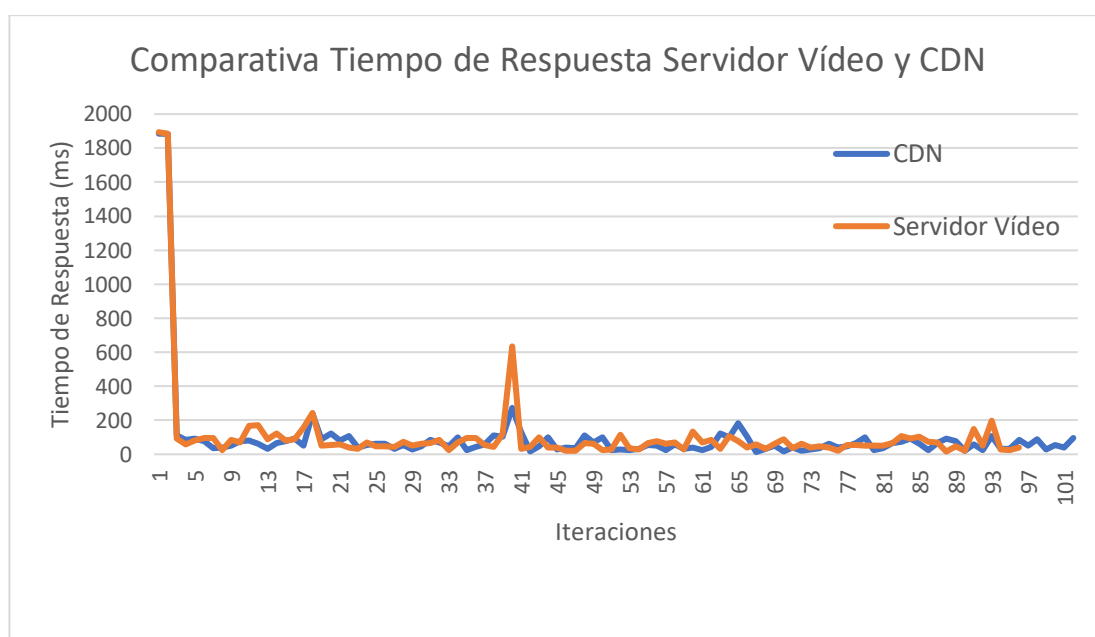


Figura 6-28 Comparativa tiempo de respuesta servidor de vídeo y servidor CDN en la red de distribución de contenidos.

En la Figura 6-29 tenemos el ancho de banda en Mbps que se ha calculado a partir del tiempo transcurrido en descargar el vídeo y el tamaño del fichero. Y como se puede apreciar el ancho de banda del servidor CDN es efectivamente mayor que en caso del servidor de vídeo, concretamente el valor medio de la tasa de transferencia del servidor CDN es 89,91340122 Mbps frente a los 82,95132286 Mbps del servidor de vídeo. Por lo que queda demostrada la justificación del caso de uso de una red de distribución de contenidos, por la cual se implementa para reducir la carga en la red a la vez que mejorar la calidad de servicio que se ofrece a los usuarios.

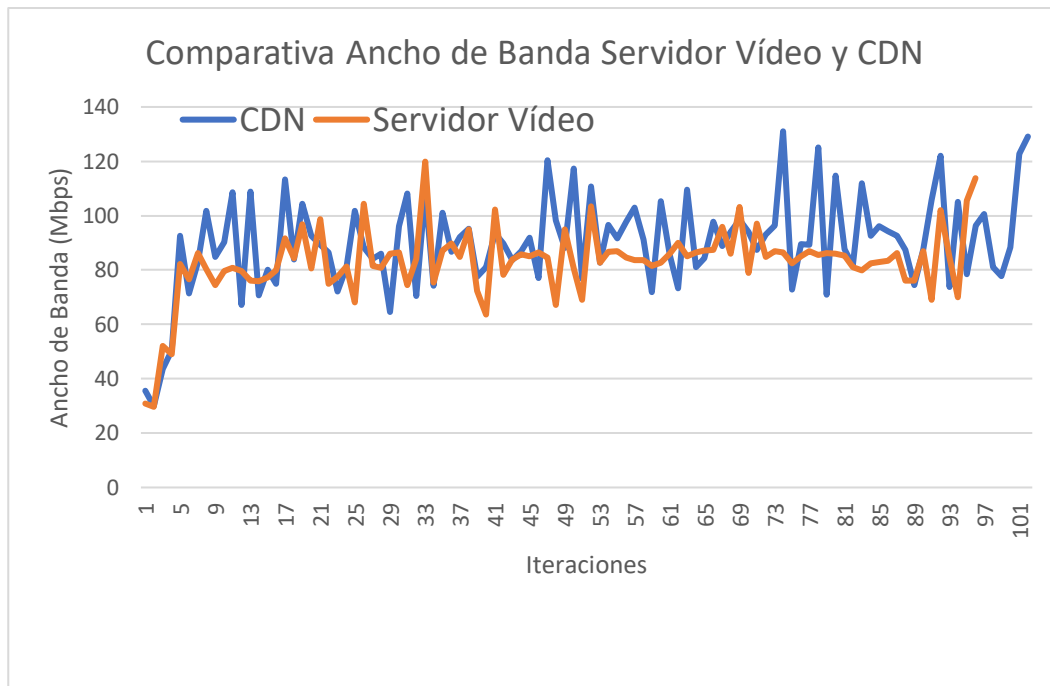


Figura 6-29 Comparativa ancho de banda entre servidor de vídeo y CDN en la red de distribución de contenidos.

## 6.4 Conclusiones

En las pruebas funcionales hemos demostrado que los dos despliegues funcionan correctamente. En la red virtual nos hemos centrado en la tabla de rutas y vecinos conocidos a través de OSPF y de las rutas que permiten la conectividad entre distintas Comunidades Autónomas, y en la red de distribución de contenidos hemos demostrado como la resolución de dominios por localización funciona correctamente y como era posible descargar el fichero de prueba del servidor más cercano. Luego hemos visto los tiempos de despliegue de las dos soluciones, que se mantenían similares entre interacciones para después, comparar el consumo de CPU tanto del host como de todas las máquinas virtuales que tienen desplegado el orquestador y las infraestructuras virtuales. En las gráficas de consumo se podía ver claramente cuándo se desplegaba sobre una infraestructura y cuando en otra, cuál era la que estaba más cargada. Por último, hemos visto las pruebas de rendimiento tanto de la red virtual con una latencia bastante alta, justificada por la gran cantidad de capas de virtualización necesarias para desplegar este entorno. Finalmente, las pruebas de rendimiento de la red de distribución de contenidos donde se ha comparado el tiempo de respuesta y tasa de transferencia del servidor CDN más cercano al usuario frente al servidor de vídeo, demostrando que se mejora el servicio a la vez que no se carga la red troncal. Tras revisar las pruebas realizadas sobre los dos casos de uso desplegados, continuamos con las conclusiones de este trabajo, en el capítulo 7.

## 7 Conclusiones y Trabajo Futuro

### 7.1 Conclusiones

La 5ª generación de redes móviles ha sido diseñada para cumplir con los requisitos de una sociedad hiperconectada y con cada vez mayor movilidad, apostando por la virtualización que permitirá la optimización de recursos y una mejora en el consumo energético. Esta virtualización permitirá escalar los diferentes servicios de red según las demandas en tiempo real consiguiendo una mejora en la calidad de servicio a la vez que una reducción de la indisponibilidad de dichos servicios.

Uno de los pilares fundamentales de esta nueva generación de redes es la virtualización de funciones de red, que consigue el desacoplamiento de dichas funciones de red respecto a los dispositivos físicos propietarios. Este cambio de paradigma va a suponer una revolución en el mercado y la apertura de nuevos modelos de negocio, el hecho de no depender del *hardware* físico de cada vendedor supondrá una competencia por el *Software*, que desempeña dicha función de red de manera virtual sobre una infraestructura virtualizada. Este hecho permitirá que los distintos proveedores de funciones de red compitan por la mejor función de red virtual y no por el mejor *Hardware*, ya que la infraestructura será la misma para todos. Al ser el *Software* la parte importante, será posible introducir en este mercado pequeñas empresas, así como el mundo académico, ya que no será necesario disponer ni diseñar el *hardware* específico para cada función de red. Además, el hecho de separar el *Hardware* del *Software* permitirá que los proveedores de recursos físicos compitan por ofrecer la mejor solución al mejor precio, ya que las funciones de red virtuales son agnósticas a los recursos físicos que conforman la infraestructura virtual. Todo esto traerá un ahorro a las operadoras y un cambio en el modelo de comercialización de dichas funciones de red virtuales, ya que al estar desplegado sobre una infraestructura virtual permite optimizar el uso de recursos. Además, al ser la infraestructura la misma para todas las funciones de red virtuales el cambio de proveedor de funciones de red virtuales no será tan complejo como en el caso de los dispositivos de red físicos.

La virtualización de funciones de red proporciona a los proveedores de servicios de internet nuevas oportunidades de negocio así como una reducción en el plazo de lanzamiento de nuevos servicios, conocido como “time to market”. Entre esas nuevas oportunidades de negocio podría estar el despliegue de una red de distribución de contenidos, similar a la desplegada en este trabajo. Así se consigue una relación de mutuo beneficio con las plataformas de vídeo, donde el operador puede monetizar parte del uso que hacen los clientes en esas plataformas, a la vez que las plataformas de vídeo podrían ofrecer una mejor calidad, ya que el operador controlaría toda la red de extremo a extremo y los contenidos se encontrarían más próximos al cliente. Este caso de uso es también aplicable a otros negocios que requieran baja latencia, como el de videojuegos.

Como hemos visto en este TFM el despliegue de servicios de red requieren de una gran variedad de funciones de red virtuales que se deben desplegar sobre diferentes infraestructuras, lo que hace necesario un orquestador, como en nuestro caso OS MANO, que permita desplegar estos servicios de red abstrayéndonos de la infraestructura virtual sobre la que se van a ejecutar, que podría reemplazarse según las necesidades del operador. También, al existir servicios de red cada vez más complejos es necesario una automatización de dichos despliegues y una automatización de la gestión y el mantenimiento de los mismos.

En este trabajo hemos diseñado e implementado un entorno que permite el despliegue de funciones de red virtuales. Dicho entorno está formado por dos infraestructuras virtuales sobre las cuales el orquestador OS MANO despliega los servicios de red conformados por diversas funciones de red virtuales. Este entorno requiere de bastantes recursos, lo que imposibilita poder desplegarlo sobre un ordenador personal, por lo que ha habido que desplegar sobre una máquina virtual Ubuntu instanciada sobre una infraestructura VMware empresarial, para después desplegar las máquinas virtuales necesarias para implementar el orquestador y las infraestructuras sobre VirtualBox.

En el despliegue de la red virtual formada por enrutadores virtuales VyOS ha sido muy importante la configuración de las interfaces, rangos de direcciones así como los distintos enlaces virtuales. Gracias a los ficheros de configuración Cloud-Init y a la descripción de los servicios de red y las funciones de red en el orquestador se ha conseguido hacer el despliegue de manera agnóstica a la infraestructura virtual Openstack. Otro punto importante ha sido la utilización del protocolo OSPF como protocolo de enrutamiento dinámico, dentro de la red virtual que hemos considerado que era el sistema autónomo, ya que lo asemeja a un despliegue real. En las pruebas de este despliegue hemos visto que el rendimiento relativo a la latencia era menor del esperado y ha sido justificado por las numerosas capas de virtualización y sistemas operativos que se han utilizado para el despliegue de este entorno.

En el despliegue de la red de distribución de contenidos se ha explicado cómo configurar e implementar las distintas VNFs como son: los enrutadores, el servidor de DNS, el servidor de vídeo y los servidores CDN. Y la importancia y el gran valor que aporta la resolución DNS por localización, junto a esto hemos demostrado mediante pruebas de rendimiento la mejora en tiempos de respuesta y latencia resultado de consultar los contenidos en el servidor CDN más cercano respecto a recurrir al servidor de vídeo situado a mayor distancia.

Uno de los aspectos más complicados en este trabajo han sido el despliegue del entorno, que ha sido complejo debido a la gran cantidad de recursos utilizados así como la complejidad en la configuración del orquestador y las infraestructuras virtuales. El otro aspecto complicado y laborioso ha sido la codificación de los archivos Cloud-Init, descriptores de VNF y los descriptores de los NS.

Para la realización de este trabajo es necesario disponer de conocimientos de redes, sobre todo en lo relativo al direccionamiento y enrutamiento de las mismas, y de virtualización y sistemas operativos para poder desplegar el entorno que hemos mencionado. Por lo que los conocimientos adquiridos en las asignaturas de redes pertenecientes al Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación han sido indispensables para la realización del proyecto.

Gracias a la asignatura de Planificación de Redes disponemos de conocimientos sobre la monitorización y medición de rendimiento de las redes, Tecnologías y Servicios de Internet nos aportó información sobre APIs y medición de rendimiento en la nube, además, en esta asignatura utilizamos Openstack. Y gracias a la asignatura de Gestión de Redes, disponemos de los conocimientos necesarios para diseñar, configurar y operar servicios de red, como los implementados en este trabajo.

Para facilitar posibles continuaciones de este trabajo, todos los ficheros de configuración de Cloud-Init, así como los descriptores de las VNF y los descriptores de servicios de Red se encuentran, bajo licencia GPL-3.0, en GitHub [39].

## 7.2 Trabajo Futuro

Puesto que el entorno desplegado se ha visto perjudicado en lo relativo al rendimiento debido a las numerosas capas de virtualización y los números sistemas operativos sobre los que se han desplegado los distintos componentes de dicho entorno, se podría estudiar una forma de desplegar el entorno reduciendo el número de capas de virtualización, prescindiendo de Virtualbox y desplegando las infraestructuras virtuales y el orquestador directamente sobre la infraestructura física. Otra forma de mejorar este rendimiento sería trabajar en que las funciones de red accedieran directamente al hardware físico sin necesidad de hacerlo a través del hipervisor como se detalla en [40].

También sería interesante seguir investigando un orquestador que permita conocer el tiempo de despliegue previamente, así como los recursos necesarios y realmente si es viable desplegarlos, ya que en el orquestador OS MANO esta información no la ofrecía y era Openstack el que lanzaba un error si no era posible desplegar las funciones con los recursos que tenía disponibles. Junto a lo anterior, se podría investigar cómo desplegar estas funciones generando todos los ficheros de configuración de Cloud-Init, de los descriptores de VNF y de los descriptores del servicio de red de manera más sencilla. Por último, sería interesante realizar un estudio en mayor detalle de la reducción en costes que conlleva este tipo de despliegues junto a una mayor capacidad de automatización de los mismos.

## 8 Referencias

- [1] «View on 5G Architecture,» 5G PPP Architecture Working Group, Junio 2019.
- [2] ETSI, «Network Functions Virtualisation (NFV),» [En línea]. Available: <https://www.etsi.org/technologies/nfv>. [Último acceso: 30 Julio 2020].
- [3] ETSI, «Open source Management and Orchestration (MANO),» [En línea]. Available: <https://osm.etsi.org/>. [Último acceso: 30 Julio 2020].
- [4] S. Ahmadi, Architecture, Technology, Implementation, and Operation of 3GPP New Radio Standards, Academic Press, 2019.
- [5] A. A. Barakabitze, A. Ahmad, R. Mijumbi y A. Hines, «5G network slicing using SDN and NFV: A survey of taxonomy, architectures and future challenges,» *Computer Networks*, vol. 167, Noviembre 2019.
- [6] Cisco, «Cisco Annual Internet Report (2018–2023),» Cisco, 2020.
- [7] K. Benzekki, A. El Fergougui y E. Elbelrhiti, «Software-defined networking (SDN): a survey.,» *Security and communication networks*, n° 9, p. 5803–5833, February 2017.
- [8] Open Networking Foundation, «Open Networking Foundation,» 2020. [En línea]. Available: <https://opennetworking.org/sdn-definition/>. [Último acceso: 24 12 2020].
- [9] Peter Hedman, «Description of Network Slicing Concept,» NGMN Alliance, January 2016.
- [10] 5G PPP, «The 5G Infrastructure Public Private Partnership (5G PPP),» [En línea]. Available: <https://5g-ppp.eu/2nd-5g-vertical-workshop/>. [Último acceso: 24 12 2020].
- [11] R. El Hattachi y J. Erfanian, «NGMN 5G Initiative White Paper,» NGMN Alliance, Febrero 2015.
- [12] M. Portnoy, Virtualization essentials, John Wiley & Sons, 2012.
- [13] «SDxCentral,» [En línea]. Available: [https://www.sdxcentral.com/resources/glossary/network-function/#:~:text=Network%20Function%20\(NF\)%20%E2%80%93%20a,network%20node%20or%20physical%20appliance..](https://www.sdxcentral.com/resources/glossary/network-function/#:~:text=Network%20Function%20(NF)%20%E2%80%93%20a,network%20node%20or%20physical%20appliance..) [Último acceso: 24 Diciembre 2020].
- [14] «SDxCentral,» [En línea]. Available: <https://www.sdxcentral.com/networking/nfv/definitions/whats-network-functions-virtualization-nfv/>. [Último acceso: 24 Diciembre 2020].
- [15] ETSI, «Network Functions Virtualisation: An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges and Call for Action,» 2012.
- [16] Microsoft, «Microsoft Azure,» [En línea]. Available: <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/what-are-private-public-hybrid-clouds/>. [Último acceso: 24 Diciembre 2020].
- [17] «BMC Blogs,» [En línea]. Available: <https://www.bmc.com/blogs/public-private-hybrid-cloud/>. [Último acceso: 24 Diciembre 2020].

- [18] Openstack, «Openstack,» [En línea]. Available: <https://docs.openstack.org/project-team-guide/introduction.html>. [Último acceso: 24 Diciembre 2020].
- [19] Openstack, «Openstack,» [En línea]. Available: <https://www.openstack.org/software/>. [Último acceso: 24 Diciembre 2020].
- [20] Openstack, «Openstack,» [En línea]. Available: <https://object-storage-ca-ymq-1.vexxhost.net/swift/v1/6e4619c416ff4bd19e1c087f27a43eea/www-assets-prod/openstack-map/openstack-map-v20191001.pdf>. [Último acceso: 24 Diciembre 2020].
- [21] Openstack, «Openstack,» [En línea]. Available: <https://www.openstack.org/software/releases/victoria/components/keystone>. [Último acceso: 24 Diciembre 2020].
- [22] Openstack, «Openstack,» [En línea]. Available: <https://www.openstack.org/software/releases/victoria/components/glance>. [Último acceso: 24 Diciembre 2020].
- [23] Openstack, «Openstack,» [En línea]. Available: <https://www.openstack.org/software/releases/victoria/components/nova>. [Último acceso: 24 Diciembre 2020].
- [24] Openstack, «Openstack,» [En línea]. Available: <https://www.openstack.org/software/releases/victoria/components/cinder>. [Último acceso: 24 Diciembre 2020].
- [25] Openstack, «Openstack,» [En línea]. Available: <https://www.openstack.org/software/releases/victoria/components/neutron>. [Último acceso: 24 Diciembre 2020].
- [26] Openstack, «Openstack,» [En línea]. Available: <https://www.openstack.org/software/releases/victoria/components/horizon>. [Último acceso: 24 Diciembre 2020].
- [27] VMware, *VMware vSphere Ediciones de Enterprise y Enterprise Plus*, 2011.
- [28] A. Alwakeel, A. Alnaim y E. Fernández, «A Pattern for NFV Management and Orchestration (MANO),» 2019.
- [29] ETSI, «Network functions virtualisation (nfv); management and orchestration,» *NFVISG*, vol. 1, 2014.
- [30] ETSI, «Network functions virtualisation (NFV); terminology for main concepts in NFV,» *NFVISG*, vol. 3, pp. 1-10, 2014.
- [31] ETSI, «Open Source MANO,» [En línea]. Available: <https://osm.etsi.org/docs/user-guide/01-quickstart.html>. [Último acceso: 24 Diciembre 2020].
- [32] R. Sharma y M. D. Ananth, «Cloud Management Using Network Function Virtualization to Reduce CAPEX and OPEX,» de *8th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)*, Tehri, 2016.
- [33] N. Herbaut, D. Negru, Y. Chen, P. A. Frangoudis y A. Ksentini, «Content Delivery Networks as a Virtual Network Function: A Win-Win ISP-CDN Collaboration,» de *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Washington, DC, 2016.
- [34] O. V. 2, «RFC 2328,» 1998. [En línea]. Available: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc2328>. [Último acceso: 29 12 2020].



- [35] MikroTik, «MikroTik,» [En línea]. Available: <https://help.mikrotik.com/docs/display/ROS/OSPF+Case+Studies+and+Solutions>. [Último acceso: 29 12 2020].
- [36] A. O. M. -. Openstack, 2020. [En línea]. Available: <https://superuser.openstack.org/wp-content/uploads/2018/09/image2.png>. [Último acceso: 5 01 2021].
- [37] Cloud-Init, «Cloud-Init,» 22 11 2020. [En línea]. Available: <https://cloudinit.readthedocs.io/en/latest/index.html>. [Último acceso: 8 01 2021].
- [38] PC Componentes, «PC Componentes,» [En línea]. Available: <https://www.pccomponentes.com/>. [Último acceso: 9 01 2020].
- [39] B. Pascual Rueda, «Cloud-Init, VNFS, NSD para desplegar Red-Virtual y Red MEC,» 10 01 2020. [En línea]. Available: <https://github.com/Borjapr/Cloud-Init-VNFS-NSD-para-desplegar-Red-Virtual-y-Red-MEC>. [Último acceso: 11 01 2020].
- [40] R. Leira Osuna , «Estudio de captura y almacenamiento de tráfico en redes físicas y virtuales multi-gigabit,» Trabajo Fin de Máster, Escuela Politécnica Superior, Universidad Autónoma de Madrid, 2015.
- [41] Openstack Foundation, «Accelerating NFV Delivery with OpenStack,» OpenStack Foundation Report, 2016.
- [42] J. Rodriguez, Fundamentals of 5G Mobile Networks, Wiley, 2015.
- [43] U. Bulkan, T. Dagiuklas, M. Iqbal, K. Huq, A. Al-Dulaimi y J. Rodriguez, «On the Load Balancing of Edge Computing Resources for On-line Video Delivery,» *IEEE Access*, vol. 6, Diciembre 2018.
- [44] B. Badic, I. Karls, C. Drewes y M. Mueck, Rolling Out 5G: Use Cases, Applications and Technology Solutions, Appress, 2016.
- [45] R. Leira, J. M. Guillermo, I. Gonzalez, F. Gomez Arribas y J. E. Lopez de Vergara, «Performance assessment of 40 Gb/s off-the-shelf network cards for virtual network probes in 5G networks,» *Computer Networks*, vol. 152, pp. 133-143, Abril 2019.



## Anexo

### A. Cloud-Init, NSD y VNFD Red Virtual

#### A.1 Configuración Cloud-Init Galicia

```
1      #vyos-config
2      interfaces {
3          ethernet eth0 {
4              address 192.168.130.1/30
5          }
6          ethernet eth1 {
7              address dhcp
8          }
9          ethernet eth2 {
10             address 192.168.130.5/30
11         }
12         ethernet eth3 {
13             address 192.168.130.86/30
14         }
15         loopback lo {
16         }
17     }
18     protocols {
19         ospf {
20             area 0 {
21                 network 192.168.130.0/30
22                 network 130.206.0.0/24
23                 network 192.168.130.4/30
24                 network 192.168.130.84/30
25             }
26         }
27     }
28     system {
29         host-name galicia
30     }
```

#### A.2 Configuración Cloud-Init Asturias

```
1      #vyos-config
2      interfaces {
3          ethernet eth0 {
4              address 192.168.130.2/30
5          }
6          ethernet eth1 {
7              address dhcp
8          }
9          ethernet eth2 {
10             address 192.168.130.9/30
```

```

11     }
12     loopback lo {
13     }
14 }
15 protocols {
16     ospf {
17         area 0 {
18             network 192.168.130.0/30
19             network 192.168.130.8/30
20             network 130.206.1.0/24
21         }
22     }
23 }
24 system {
25     host-name asturias
26 }

```

### A.3 Configuración Cloud-Init Cantabria

```

1  #vyos-config
2  interfaces {
3      ethernet eth0 {
4          address 192.168.130.10/30
5      }
6      ethernet eth1 {
7          address dhcp
8      }
9      ethernet eth2 {
10         address 192.168.130.13/30
11     }
12     loopback lo {
13     }
14 }
15 protocols {
16     ospf {
17         area 0 {
18             network 192.168.130.8/30
19             network 130.206.2.0/24
20             network 192.168.130.12/30
21         }
22     }
23 }
24 system {
25     host-name cantabria
26 }

```

### A.4 Configuración Cloud-Init País Vasco

```

1  #vyos-config
2  interfaces {

```

```

3      ethernet eth0 {
4          address 192.168.130.14/30
5      }
6      ethernet eth1 {
7          address dhcp
8      }
9      ethernet eth2 {
10         address 192.168.130.17/30
11     }
12     ethernet eth3 {
13         address 192.168.130.6/30
14     }
15     loopback lo {
16     }
17 }
18 protocols {
19     ospf {
20         area 0 {
21             network 192.168.130.12/30
22             network 130.206.3.0/24
23             network 192.168.130.16/30
24             network 192.168.130.4/30
25         }
26     }
27 }
28 system {
29     host-name paisvasco
30 }

```

## A.5 Configuración Cloud-Init Navarra

```

1      #vyos-config
2      interfaces {
3          ethernet eth0 {
4              address 192.168.130.18/30
5          }
6          ethernet eth1 {
7              address dhcp
8          }
9          ethernet eth2 {
10             address 192.168.130.25/30
11         }
12         loopback lo {
13         }
14     }
15     protocols {
16         ospf {
17             area 0 {
18                 network 192.168.130.16/30
19                 network 130.206.4.0/24

```

```

20             network 192.168.130.24/30
21         }
22     }
23 }
24 system {
25     host-name navarra
26 }

```

## A.6 Configuración Cloud-Init Aragón

```

1  #vyos-config
2  interfaces {
3      ethernet eth0 {
4          address 192.168.130.30/30
5      }
6      ethernet eth1 {
7          address 192.168.130.26/30
8      }
9      ethernet eth2 {
10         address 192.168.130.33/30
11     }
12     ethernet eth3 {
13         address dhcp
14     }
15     ethernet eth4 {
16         address 192.168.130.45/30
17     }
18     loopback lo {
19     }
20 }
21 protocols {
22     ospf {
23         area 0 {
24             network 192.168.130.28/30
25             network 192.168.130.24/30
26             network 192.168.130.32/30
27             network 130.206.6.0/24
28             network 192.168.130.44/30
29         }
30     }
31 }
32 system {
33     host-name aragon
34 }

```

## A.7 Configuración Cloud-Init Cataluña

```

1  #vyos-config
2  interfaces {
3      ethernet eth0 {

```

```

4         address dhcp
5     }
6     ethernet eth1 {
7         address 192.168.130.41/30
8     }
9     ethernet eth2 {
10        address 192.168.130.37/30
11    }
12    ethernet eth3 {
13        address 192.168.130.34/30
14    }
15    loopback lo {
16    }
17 }
18 protocols {
19     ospf {
20         area 0 {
21             network 130.206.5.0/24
22             network 192.168.130.40/30
23             network 192.168.130.36/30
24             network 192.168.130.32/30
25         }
26     }
27 }
28 system {
29     host-name catalunia
30 }

```

## A.8 Configuración Cloud-Init La Rioja

```

1 #vyos-config
2 interfaces {
3     ethernet eth0 {
4         address dhcp
5     }
6     ethernet eth1 {
7         address 192.168.130.81/30
8     }
9     ethernet eth2 {
10        address 192.168.130.29/30
11    }
12    loopback lo {
13    }
14 }
15 protocols {
16     ospf {
17         area 0 {
18             network 130.206.7.0/24
19             network 192.168.130.80/30
20             network 192.168.130.28/30

```

```

21      }
22    }
23  }
24  system {
25    host-name rioja
26  }

```

## A.9 Configuración Cloud-Init Catilla y León

```

1    #vyos-config
2    interfaces {
3      ethernet eth0 {
4        address dhcp
5      }
6      ethernet eth1 {
7        address 192.168.130.85/30
8      }
9      ethernet eth2 {
10       address 192.168.130.82/30
11     }
12     ethernet eth3 {
13       address 192.168.130.77/30
14     }
15     loopback lo {
16     }
17   }
18   protocols {
19     ospf {
20       area 0 {
21         network 192.168.130.84/30
22         network 130.206.9.0/24
23         network 192.168.130.80/30
24         network 192.168.130.76/30
25       }
26     }
27   }
28   system {
29     host-name castillaleon
30   }

```

## A.10 Configuración Cloud-Init Madrid

```

1    #vyos-config
2    interfaces {
3      ethernet eth0 {
4        address 192.168.130.78/30
5      }
6      ethernet eth1 {
7        address dhcp
8      }

```

```

9      ethernet eth2 {
10          address 192.168.130.49/30
11      }
12      ethernet eth3 {
13          address 192.168.130.46/30
14      }
15      ethernet eth4 {
16          address 192.168.130.38/30
17      }
18      ethernet eth5 {
19          address 192.168.130.94/30
20      }
21      ethernet eth6 {
22          address 192.168.130.65/30
23      }
24      ethernet eth7 {
25          address 192.168.130.74/30
26      }
27      loopback lo {
28      }
29  }
30  protocols {
31      ospf {
32          area 0 {
33              network 192.168.130.72/30
34              network 192.168.130.76/30
35              network 192.168.130.48/30
36              network 130.206.8.0/24
37              network 192.168.130.44/30
38              network 192.168.130.36/30
39              network 192.168.130.92/30
40              network 192.168.130.64/30
41          }
42      }
43  }
44  system {
45      host-name madrid
46  }

```

## A.11 Configuración Cloud-Init Castilla y La Mancha

```

1  #vyos-config
2  interfaces {
3      ethernet eth0 {
4          address 192.168.130.89/30
5      }
6      ethernet eth1 {
7          address 192.168.130.93/30
8      }
9      ethernet eth2 {

```

```

10         address dhcp
11     }
12     loopback lo {
13     }
14 }
15 protocols {
16     ospf {
17         area 0 {
18             network 192.168.130.88/30
19             network 192.168.130.92/30
20             network 130.206.11.0/24
21         }
22     }
23 }
24 system {
25     host-name castillamancha
26 }

```

## A.12 Configuración Cloud-Init Valencia

```

1  #vyos-config
2  interfaces {
3      ethernet eth0 {
4          address 192.168.130.53/30
5      }
6      ethernet eth1 {
7          address 192.168.130.50/30
8      }
9      ethernet eth2 {
10         address 192.168.130.42/30
11     }
12     ethernet eth3 {
13         address dhcp
14     }
15     ethernet eth4 {
16         address 192.168.130.57/30
17     }
18     loopback lo {
19     }
20 }
21 protocols {
22     ospf {
23         area 0 {
24             network 192.168.130.52/30
25             network 192.168.130.48/30
26             network 192.168.130.40/30
27             network 130.206.12.0/24
28             network 192.168.130.56/30
29         }
30     }

```



```
31    }
32    system {
33        host-name valencia
34    }
```

### A.13 Configuración Cloud-Init Extremadura

```
1    #vyos-config
2    interfaces {
3        ethernet eth0 {
4            address dhcp
5        }
6        ethernet eth1 {
7            address 192.168.130.73/30
8        }
9        ethernet eth2 {
10           address 192.168.130.70/30
11       }
12       loopback lo {
13       }
14   }
15   protocols {
16       ospf {
17           area 0 {
18               network 192.168.130.72/30
19               network 192.168.130.68/30
20               network 130.206.10.0/24
21           }
22       }
23   }
24   system {
25       host-name extremadura
26   }
```

### A.14 Configuración Cloud-Init Murcia

```
1    #vyos-config
2    interfaces {
3        ethernet eth0 {
4            address dhcp
5        }
6        ethernet eth1 {
7            address 192.168.130.58/30
8        }
9        ethernet eth2 {
10           address 192.168.130.61/30
11       }
12       loopback lo {
13       }
14   }
```

```

15     protocols {
16         ospf {
17             area 0 {
18                 network 192.168.130.56/30
19                 network 192.168.130.60/30
20                 network 130.206.13.0/24
21             }
22         }
23     }
24     system {
25         host-name murcia
26     }

```

## A.15 Configuración Cloud-Init Andalucía

```

1     #vyos-config
2     interfaces {
3         ethernet eth0 {
4             address 192.168.130.69/30
5         }
6         ethernet eth1 {
7             address 192.168.130.66/30
8         }
9         ethernet eth2 {
10            address 192.168.130.90/30
11        }
12        ethernet eth3 {
13            address 192.168.130.54/30
14        }
15        ethernet eth4 {
16            address 192.168.130.62/30
17        }
18        ethernet eth5 {
19            address dhcp
20        }
21        loopback lo {
22        }
23    }
24    protocols {
25        ospf {
26            area 0 {
27                network 192.168.130.68/30
28                network 192.168.130.64/30
29                network 192.168.130.88/30
30                network 130.206.14.0/24
31                network 192.168.130.52/30
32                network 192.168.130.60/30
33            }
34        }
35    }

```

```

36     system {
37         host-name andalucia
38     }

```

## A.16 VNFD Galicia

```

1     vnfd:vnfd-catalog:
2     vnfd:
3     - connection-point:
4     - id: cp_eth0
5       name: cp_eth0
6       port-security-enabled: false
7       short-name: cp_eth0
8       type: VPORT
9     - id: cp_eth1
10      name: cp_eth1
11      port-security-enabled: false
12      short-name: cp_eth1
13      type: VPORT
14     - id: cp_eth2
15      name: cp_eth2
16      port-security-enabled: false
17      short-name: cp_eth2
18      type: VPORT
19     - id: cp_eth3
20      name: cp_eth3
21      port-security-enabled: false
22      short-name: cp_eth3
23      type: VPORT
24     description: ''
25     id: Router_Galicia_vnf
26     internal-vld: []
27     mgmt-interface:
28       cp: cp_eth0
29     name: Router_Galicia_vnf
30     short-name: Router_Galicia_vnf
31     vdu:
32     - cloud-init-file: cloud_config_router_galicia.cfg
33       count: 1
34       description: vm_RGalicia
35       id: vm_RGalicia
36       image: vyos_117
37       interface:
38       - external-connection-point-ref: cp_eth0
39         name: eth0
40         position: '1'
41         type: EXTERNAL
42       virtual-interface:
43         type: VIRTIO
44     - external-connection-point-ref: cp_eth1

```

```

45         name: eth1
46         position: '2'
47         type: EXTERNAL
48         virtual-interface:
49             type: VIRTIO
50     - external-connection-point-ref: cp_eth2
51       name: eth2
52       position: '3'
53       type: EXTERNAL
54       virtual-interface:
55           type: VIRTIO
56     - external-connection-point-ref: cp_eth3
57       name: eth3
58       position: '4'
59       type: EXTERNAL
60       virtual-interface:
61           type: VIRTIO
62     vm-flavor:
63         memory-mb: 512
64         storage-gb: 3
65         vcpu-count: 1
66     version: '1.0'

```

## A.17 VNFD Asturias

```

1     vnfd:vnfd-catalog:
2     vnfd:
3     - connection-point:
4     - id: cp_eth0
5       name: cp_eth0
6       port-security-enabled: false
7       short-name: cp_eth0
8       type: VPORT
9     - id: cp_eth1
10      name: cp_eth1
11      port-security-enabled: false
12      short-name: cp_eth1
13      type: VPORT
14     - id: cp_eth2
15       name: cp_eth2
16       port-security-enabled: false
17       short-name: cp_eth2
18       type: VPORT
19     description: ''
20     id: Router_Asturias_vnf
21     internal-vld: []
22     mgmt-interface:
23         cp: cp_eth0
24     name: Router_Asturias_vnf
25     short-name: Router_Asturias_vnf

```

```

26     vdu:
27     - cloud-init-file: cloud_config_router_asturias.cfg
28       count: 1
29       description: vm_RAsturias
30       id: vm_RAsturias
31       image: vyos_117
32       interface:
33       - external-connection-point-ref: cp_eth0
34         name: eth0
35         position: '1'
36         type: EXTERNAL
37         virtual-interface:
38         type: VIRTIO
39       - external-connection-point-ref: cp_eth1
40         name: eth1
41         position: '2'
42         type: EXTERNAL
43         virtual-interface:
44         type: VIRTIO
45       - external-connection-point-ref: cp_eth2
46         name: eth2
47         position: '3'
48         type: EXTERNAL
49         virtual-interface:
50         type: VIRTIO
51     vm-flavor:
52     memory-mb: 512
53     storage-gb: 3
54     vcpu-count: 1
55     version: '1.0'

```

## A.18 VNFD Cantabria

```

1     vnfd:vnfd-catalog:
2     vnfd:
3     - connection-point:
4     - id: cp_eth0
5       name: cp_eth0
6       port-security-enabled: false
7       short-name: cp_eth0
8       type: VPORT
9     - id: cp_eth1
10      name: cp_eth1
11      port-security-enabled: false
12      short-name: cp_eth1
13      type: VPORT
14     - id: cp_eth2
15      name: cp_eth2
16      port-security-enabled: false
17      short-name: cp_eth2

```

```

18         type: VPORT
19         description: ''
20         id: Router_Cantabria_vnf
21         internal-vld: []
22         mgmt-interface:
23             cp: cp_eth0
24         name: Router_Cantabria_vnf
25         short-name: Router_Cantabria_vnf
26         vdu:
27             - cloud-init-file: cloud_config_router_cantabria.cfg
28               count: 1
29               description: vm_RCantabria
30               id: vm_RCantabria
31               image: vyos_117
32               interface:
33                   - external-connection-point-ref: cp_eth0
34                     name: eth0
35                     position: '1'
36                     type: EXTERNAL
37                     virtual-interface:
38                         type: VIRTIO
39                   - external-connection-point-ref: cp_eth1
40                     name: eth1
41                     position: '2'
42                     type: EXTERNAL
43                     virtual-interface:
44                         type: VIRTIO
45                   - external-connection-point-ref: cp_eth2
46                     name: eth2
47                     position: '3'
48                     type: EXTERNAL
49                     virtual-interface:
50                         type: VIRTIO
51         vm-flavor:
52             memory-mb: 512
53             storage-gb: 3
54             vcpu-count: 1
55         version: '1.0'

```

## A.19 VNFD País Vasco

```

1     vnfd:vnfd-catalog:
2     vnfd:
3     - connection-point:
4         - id: cp_eth0
5           name: cp_eth0
6           port-security-enabled: false
7           short-name: cp_eth0
8           type: VPORT
9     - id: cp_eth1

```

```

10     name: cp_eth1
11     port-security-enabled: false
12     short-name: cp_eth1
13     type: VPORT
14 - id: cp_eth2
15     name: cp_eth2
16     port-security-enabled: false
17     short-name: cp_eth2
18     type: VPORT
19 - id: cp_eth3
20     name: cp_eth3
21     port-security-enabled: false
22     short-name: cp_eth3
23     type: VPORT
24 description: ''
25 id: Router_PaisVasco_vnf
26 internal-vld: []
27 mgmt-interface:
28     cp: cp_eth0
29 name: Router_PaisVasco_vnf
30 short-name: Router_PaisVasco_vnf
31 vdu:
32 - cloud-init-file: cloud_config_router_paisvasco.cfg
33     count: 1
34     description: vm_RPaisVasco
35     id: vm_RPaisVasco
36     image: vyos_117
37     interface:
38     - external-connection-point-ref: cp_eth0
39       name: eth0
40       position: '1'
41       type: EXTERNAL
42       virtual-interface:
43         type: VIRTIO
44     - external-connection-point-ref: cp_eth1
45       name: eth1
46       position: '2'
47       type: EXTERNAL
48       virtual-interface:
49         type: VIRTIO
50     - external-connection-point-ref: cp_eth2
51       name: eth2
52       position: '3'
53       type: EXTERNAL
54       virtual-interface:
55         type: VIRTIO
56     - external-connection-point-ref: cp_eth3
57       name: eth3
58       position: '4'
59       type: EXTERNAL

```

```

60         virtual-interface:
61             type: VIRTIO
62         vm-flavor:
63             memory-mb: 512
64             storage-gb: 3
65             vcpu-count: 1
66         version: '1.0'

```

## A.20 VNFD Navarra

```

1     vnfd:vnfd-catalog:
2     vnfd:
3     - connection-point:
4         - id: cp_eth0
5           name: cp_eth0
6           port-security-enabled: false
7           short-name: cp_eth0
8           type: VPORT
9         - id: cp_eth1
10          name: cp_eth1
11          port-security-enabled: false
12          short-name: cp_eth1
13          type: VPORT
14         - id: cp_eth2
15          name: cp_eth2
16          port-security-enabled: false
17          short-name: cp_eth2
18          type: VPORT
19     description: ''
20     id: Router_Navarra_vnf
21     internal-vld: []
22     mgmt-interface:
23         cp: cp_eth0
24     name: Router_Navarra_vnf
25     short-name: Router_Navarra_vnf
26     vdu:
27     - cloud-init-file: cloud_config_router_navarra.cfg
28       count: 1
29       description: vm_RNavarra
30       id: vm_RNavarra
31       image: vyos_117
32       interface:
33         - external-connection-point-ref: cp_eth0
34           name: eth0
35           position: '1'
36           type: EXTERNAL
37       virtual-interface:
38         type: VIRTIO
39     - external-connection-point-ref: cp_eth1
40       name: eth1

```



```

41         position: '2'
42         type: EXTERNAL
43         virtual-interface:
44             type: VIRTIO
45         - external-connection-point-ref: cp_eth2
46         name: eth2
47         position: '3'
48         type: EXTERNAL
49         virtual-interface:
50             type: VIRTIO
51     vm-flavor:
52         memory-mb: 512
53         storage-gb: 3
54         vcpu-count: 1
55     version: '1.0'

```

## A.21 VNFD Aragón

```

1     vnfd:vnfd-catalog:
2     vnfd:
3     - connection-point:
4         - id: cp_eth0
5           name: cp_eth0
6           port-security-enabled: false
7           short-name: cp_eth0
8           type: VPORT
9         - id: cp_eth1
10          name: cp_eth1
11          port-security-enabled: false
12          short-name: cp_eth1
13          type: VPORT
14         - id: cp_eth2
15          name: cp_eth2
16          port-security-enabled: false
17          short-name: cp_eth2
18          type: VPORT
19         - id: cp_eth3
20          name: cp_eth3
21          port-security-enabled: false
22          short-name: cp_eth3
23          type: VPORT
24         - id: cp_eth4
25          name: cp_eth4
26          port-security-enabled: false
27          short-name: cp_eth4
28          type: VPORT
29     description: ''
30     id: Router_Aragon_vnf
31     internal-vld: []
32     mgmt-interface:

```

```

33         cp: cp_eth0
34     name: Router_Aragon_vnf
35     short-name: Router_Aragon_vnf
36     vdu:
37     - cloud-init-file: cloud_config_router_aragon.cfg
38       count: 1
39       description: vm_RAragon
40       id: vm_RAragon
41       image: vyos_117
42       interface:
43       - external-connection-point-ref: cp_eth0
44         name: eth0
45         position: '1'
46         type: EXTERNAL
47         virtual-interface:
48           type: VIRTIO
49       - external-connection-point-ref: cp_eth1
50         name: eth1
51         position: '2'
52         type: EXTERNAL
53         virtual-interface:
54           type: VIRTIO
55       - external-connection-point-ref: cp_eth2
56         name: eth2
57         position: '3'
58         type: EXTERNAL
59         virtual-interface:
60           type: VIRTIO
61       - external-connection-point-ref: cp_eth3
62         name: eth3
63         position: '4'
64         type: EXTERNAL
65         virtual-interface:
66           type: VIRTIO
67       - external-connection-point-ref: cp_eth4
68         name: eth4
69         position: '5'
70         type: EXTERNAL
71         virtual-interface:
72           type: VIRTIO
73     vm-flavor:
74     memory-mb: 512
75     storage-gb: 3
76     vcpu-count: 1
77     version: '1.0'

```

## A.22 VNFD Cataluña

```

1     vnfd:vnfd-catalog:
2     vnfd:

```

```

3      - connection-point:
4        - id: cp_eth0
5          name: cp_eth0
6          port-security-enabled: false
7          short-name: cp_eth0
8          type: VPORT
9        - id: cp_eth1
10         name: cp_eth1
11         port-security-enabled: false
12         short-name: cp_eth1
13         type: VPORT
14        - id: cp_eth2
15         name: cp_eth2
16         port-security-enabled: false
17         short-name: cp_eth2
18         type: VPORT
19        - id: cp_eth3
20         name: cp_eth3
21         port-security-enabled: false
22         short-name: cp_eth3
23         type: VPORT
24      description: ''
25      id: Router_Catalunia_vnf
26      internal-vld: []
27      mgmt-interface:
28        cp: cp_eth0
29      name: Router_Catalunia_vnf
30      short-name: Router_Catalunia_vnf
31      vdu:
32      - cloud-init-file: cloud_config_router_catalunia.cfg
33        count: 1
34        description: vm_RCatalunia
35        id: vm_RCatalunia
36        image: vyos_117
37        interface:
38          - external-connection-point-ref: cp_eth0
39            name: eth0
40            position: '1'
41            type: EXTERNAL
42            virtual-interface:
43              type: VIRTIO
44          - external-connection-point-ref: cp_eth1
45            name: eth1
46            position: '2'
47            type: EXTERNAL
48            virtual-interface:
49              type: VIRTIO
50          - external-connection-point-ref: cp_eth2
51            name: eth2
52            position: '3'

```

```

53         type: EXTERNAL
54         virtual-interface:
55             type: VIRTIO
56         - external-connection-point-ref: cp_eth3
57           name: eth3
58           position: '4'
59           type: EXTERNAL
60           virtual-interface:
61               type: VIRTIO
62       vm-flavor:
63           memory-mb: 512
64           storage-gb: 3
65           vcpu-count: 1
66       version: '1.0'

```

### A.23 VNFD La Rioja

```

1  vnfd:vnfd-catalog:
2  vnfd:
3  - connection-point:
4  - id: cp_eth0
5    name: cp_eth0
6    port-security-enabled: false
7    short-name: cp_eth0
8    type: VPORT
9  - id: cp_eth1
10   name: cp_eth1
11   port-security-enabled: false
12   short-name: cp_eth1
13   type: VPORT
14  - id: cp_eth2
15    name: cp_eth2
16    port-security-enabled: false
17    short-name: cp_eth2
18    type: VPORT
19  description: ''
20  id: Router_Rioja_vnf
21  internal-vld: []
22  mgmt-interface:
23      cp: cp_eth0
24  name: Router_Rioja_vnf
25  short-name: Router_Rioja_vnf
26  vdu:
27  - cloud-init-file: cloud_config_router_rioja.cfg
28    count: 1
29    description: vm_RRioja
30    id: vm_RRioja
31    image: vyos_117
32    interface:
33    - external-connection-point-ref: cp_eth0

```

```

34         name: eth0
35         position: '1'
36         type: EXTERNAL
37         virtual-interface:
38             type: VIRTIO
39         - external-connection-point-ref: cp_eth1
40         name: eth1
41         position: '2'
42         type: EXTERNAL
43         virtual-interface:
44             type: VIRTIO
45         - external-connection-point-ref: cp_eth2
46         name: eth2
47         position: '3'
48         type: EXTERNAL
49         virtual-interface:
50             type: VIRTIO
51     vm-flavor:
52         memory-mb: 512
53         storage-gb: 3
54         vcpu-count: 1
55     version: '1.0'

```

#### A.24 VNFD Catilla y León

```

1     vnfd:vnfd-catalog:
2     vnfd:
3     - connection-point:
4         - id: cp_eth0
5           name: cp_eth0
6           port-security-enabled: false
7           short-name: cp_eth0
8           type: VPORT
9         - id: cp_eth1
10          name: cp_eth1
11          port-security-enabled: false
12          short-name: cp_eth1
13          type: VPORT
14         - id: cp_eth2
15          name: cp_eth2
16          port-security-enabled: false
17          short-name: cp_eth2
18          type: VPORT
19         - id: cp_eth3
20          name: cp_eth3
21          port-security-enabled: false
22          short-name: cp_eth3
23          type: VPORT
24     description: ''
25     id: Router_CastillaLeon_vnf

```

```

26     internal-vld: []
27     mgmt-interface:
28         cp: cp_eth0
29     name: Router_CastillaLeon_vnf
30     short-name: Router_CastillaLeon_vnf
31     vdu:
32     - cloud-init-file: cloud_config_router_castillaleon.cfg
33       count: 1
34       description: vm_RCastillaLeon
35       id: vm_RCastillaLeon
36       image: vyos_117
37       interface:
38       - external-connection-point-ref: cp_eth0
39         name: eth0
40         position: '1'
41         type: EXTERNAL
42         virtual-interface:
43             type: VIRTIO
44       - external-connection-point-ref: cp_eth1
45         name: eth1
46         position: '2'
47         type: EXTERNAL
48         virtual-interface:
49             type: VIRTIO
50       - external-connection-point-ref: cp_eth2
51         name: eth2
52         position: '3'
53         type: EXTERNAL
54         virtual-interface:
55             type: VIRTIO
56       - external-connection-point-ref: cp_eth3
57         name: eth3
58         position: '4'
59         type: EXTERNAL
60         virtual-interface:
61             type: VIRTIO
62     vm-flavor:
63         memory-mb: 512
64         storage-gb: 3
65         vcpu-count: 1
66     version: '1.0'

```

## A.25 VNFD Madrid

```

1     vnfd:vnfd-catalog:
2     vnfd:
3     - connection-point:
4     - id: cp_eth0
5       name: cp_eth0
6       port-security-enabled: false

```

```

7         short-name: cp_eth0
8         type: VPORT
9     - id: cp_eth1
10        name: cp_eth1
11        port-security-enabled: false
12        short-name: cp_eth1
13        type: VPORT
14    - id: cp_eth2
15        name: cp_eth2
16        port-security-enabled: false
17        short-name: cp_eth2
18        type: VPORT
19    - id: cp_eth3
20        name: cp_eth3
21        port-security-enabled: false
22        short-name: cp_eth3
23        type: VPORT
24    - id: cp_eth4
25        name: cp_eth4
26        port-security-enabled: false
27        short-name: cp_eth4
28        type: VPORT
29    - id: cp_eth5
30        name: cp_eth5
31        port-security-enabled: false
32        short-name: cp_eth5
33        type: VPORT
34    - id: cp_eth6
35        name: cp_eth6
36        port-security-enabled: false
37        short-name: cp_eth6
38        type: VPORT
39    - id: cp_eth7
40        name: cp_eth7
41        port-security-enabled: false
42        short-name: cp_eth7
43        type: VPORT
44    description: ''
45    id: Router_Madrid_vnf
46    internal-vld: []
47    mgmt-interface:
48        cp: cp_eth0
49    name: Router_Madrid_vnf
50    short-name: Router_Madrid_vnf
51    vdu:
52    - cloud-init-file: cloud_config_router_madrid.cfg
53        count: 1
54        description: vm_RMadrid
55        id: vm_RMadrid
56        image: vyos_117

```

```

57     interface:
58     - external-connection-point-ref: cp_eth0
59       name: eth0
60       position: '1'
61       type: EXTERNAL
62     virtual-interface:
63       type: VIRTIO
64     - external-connection-point-ref: cp_eth1
65       name: eth1
66       position: '2'
67       type: EXTERNAL
68     virtual-interface:
69       type: VIRTIO
70     - external-connection-point-ref: cp_eth2
71       name: eth2
72       position: '3'
73       type: EXTERNAL
74     virtual-interface:
75       type: VIRTIO
76     - external-connection-point-ref: cp_eth3
77       name: eth3
78       position: '4'
79       type: EXTERNAL
80     virtual-interface:
81       type: VIRTIO
82     - external-connection-point-ref: cp_eth4
83       name: eth4
84       position: '5'
85       type: EXTERNAL
86     virtual-interface:
87       type: VIRTIO
88     - external-connection-point-ref: cp_eth5
89       name: eth5
90       position: '6'
91       type: EXTERNAL
92     virtual-interface:
93       type: VIRTIO
94     - external-connection-point-ref: cp_eth6
95       name: eth6
96       position: '7'
97       type: EXTERNAL
98     virtual-interface:
99       type: VIRTIO
100    - external-connection-point-ref: cp_eth7
101      name: eth7
102      position: '8'
103      type: EXTERNAL
104    virtual-interface:
105      type: VIRTIO
106    vm-flavor:

```



107	memory-mb: 512
108	storage-gb: 3
109	vcpu-count: 1
110	version: '1.0'

## A.26 VNFD Castilla y La Mancha

```

1    vnfd:vnfd-catalog:
2    vnfd:
3    - connection-point:
4      - id: cp_eth0
5        name: cp_eth0
6        port-security-enabled: false
7        short-name: cp_eth0
8        type: VPORT
9      - id: cp_eth1
10       name: cp_eth1
11       port-security-enabled: false
12       short-name: cp_eth1
13       type: VPORT
14     - id: cp_eth2
15       name: cp_eth2
16       port-security-enabled: false
17       short-name: cp_eth2
18       type: VPORT
19     description: ''
20     id: Router_CastillaMancha_vnf
21     internal-vld: []
22     mgmt-interface:
23       cp: cp_eth0
24     name: Router_CastillaMancha_vnf
25     short-name: Router_CastillaMancha_vnf
26     vdu:
27       - cloud-init-file:
28         cloud_config_router_castillamancha.cfg
29         count: 1
30         description: vm_RCastillaMancha
31         id: vm_RCastillaMancha
32         image: vyos_117
33         interface:
34           - external-connection-point-ref: cp_eth0
35             name: eth0
36             position: '1'
37             type: EXTERNAL
38             virtual-interface:
39               type: VIRTIO
40           - external-connection-point-ref: cp_eth1
41             name: eth1
42             position: '2'
43             type: EXTERNAL

```

```

43         virtual-interface:
44             type: VIRTIO
45         - external-connection-point-ref: cp_eth2
46             name: eth2
47             position: '3'
48             type: EXTERNAL
49         virtual-interface:
50             type: VIRTIO
51     vm-flavor:
52         memory-mb: 512
53         storage-gb: 3
54         vcpu-count: 1
55     version: '1.0'

```

## A.27 VNFD Valencia

```

1     vnfd:vnfd-catalog:
2         vnfd:
3             - connection-point:
4                 - id: cp_eth0
5                     name: cp_eth0
6                     port-security-enabled: false
7                     short-name: cp_eth0
8                     type: VPORT
9             - id: cp_eth1
10                 name: cp_eth1
11                 port-security-enabled: false
12                 short-name: cp_eth1
13                 type: VPORT
14             - id: cp_eth2
15                 name: cp_eth2
16                 port-security-enabled: false
17                 short-name: cp_eth2
18                 type: VPORT
19             - id: cp_eth3
20                 name: cp_eth3
21                 port-security-enabled: false
22                 short-name: cp_eth3
23                 type: VPORT
24             - id: cp_eth4
25                 name: cp_eth4
26                 port-security-enabled: false
27                 short-name: cp_eth4
28                 type: VPORT
29         description: ''
30         id: Router_Valencia_vnf
31         internal-vld: []
32         mgmt-interface:
33             cp: cp_eth0
34         name: Router_Valencia_vnf

```

```

35     short-name: Router_Valencia_vnf
36     vdu:
37     - cloud-init-file: cloud_config_router_valencia.cfg
38       count: 1
39       description: vm_RValencia
40       id: vm_RValencia
41       image: vyos_117
42       interface:
43       - external-connection-point-ref: cp_eth0
44         name: eth0
45         position: '1'
46         type: EXTERNAL
47         virtual-interface:
48           type: VIRTIO
49       - external-connection-point-ref: cp_eth1
50         name: eth1
51         position: '2'
52         type: EXTERNAL
53         virtual-interface:
54           type: VIRTIO
55       - external-connection-point-ref: cp_eth2
56         name: eth2
57         position: '3'
58         type: EXTERNAL
59         virtual-interface:
60           type: VIRTIO
61       - external-connection-point-ref: cp_eth3
62         name: eth3
63         position: '4'
64         type: EXTERNAL
65         virtual-interface:
66           type: VIRTIO
67       - external-connection-point-ref: cp_eth4
68         name: eth4
69         position: '5'
70         type: EXTERNAL
71         virtual-interface:
72           type: VIRTIO
73     vm-flavor:
74     memory-mb: 512
75     storage-gb: 3
76     vcpu-count: 1
77     version: '1.0'

```

## A.28 VNFD Extremadura

```

1     vnfd:vnfd-catalog:
2     vnfd:
3     - connection-point:
4       - id: cp_eth0

```

```

5      name: cp_eth0
6      port-security-enabled: false
7      short-name: cp_eth0
8      type: VPORT
9  - id: cp_eth1
10     name: cp_eth1
11     port-security-enabled: false
12     short-name: cp_eth1
13     type: VPORT
14  - id: cp_eth2
15     name: cp_eth2
16     port-security-enabled: false
17     short-name: cp_eth2
18     type: VPORT
19  description: ''
20  id: Router_Extremadura_vnf
21  internal-vld: []
22  mgmt-interface:
23    cp: cp_eth0
24  name: Router_Extremadura_vnf
25  short-name: Router_Extremadura_vnf
26  vdu:
27  - cloud-init-file: cloud_config_router_extremadura.cfg
28    count: 1
29    description: vm_RExtremadura
30    id: vm_RExtremadura
31    image: vyos_117
32    interface:
33    - external-connection-point-ref: cp_eth0
34      name: eth0
35      position: '1'
36      type: EXTERNAL
37      virtual-interface:
38        type: VIRTIO
39    - external-connection-point-ref: cp_eth1
40      name: eth1
41      position: '2'
42      type: EXTERNAL
43      virtual-interface:
44        type: VIRTIO
45    - external-connection-point-ref: cp_eth2
46      name: eth2
47      position: '3'
48      type: EXTERNAL
49      virtual-interface:
50        type: VIRTIO
51  vm-flavor:
52    memory-mb: 512
53    storage-gb: 3
54    vcpu-count: 1

```

## A.29 VNFD Murcia

```

1    vnfd:vnfd-catalog:
2    vnfd:
3    - connection-point:
4    - id: cp_eth0
5      name: cp_eth0
6      port-security-enabled: false
7      short-name: cp_eth0
8      type: VPORT
9    - id: cp_eth1
10     name: cp_eth1
11     port-security-enabled: false
12     short-name: cp_eth1
13     type: VPORT
14    - id: cp_eth2
15     name: cp_eth2
16     port-security-enabled: false
17     short-name: cp_eth2
18     type: VPORT
19    description: "
20    id: Router_Murcia_vnf
21    internal-vld: []
22    mgmt-interface:
23      cp: cp_eth0
24    name: Router_Murcia_vnf
25    short-name: Router_Murcia_vnf
26    vdu:
27    - cloud-init-file: cloud_config_router_murcia.cfg
28      count: 1
29      description: vm_RMurcia
30      id: vm_RMurcia
31      image: vyos_117
32      interface:
33      - external-connection-point-ref: cp_eth0
34        name: eth0
35        position: '1'
36        type: EXTERNAL
37      virtual-interface:
38        type: VIRTIO
39      - external-connection-point-ref: cp_eth1
40        name: eth1
41        position: '2'
42        type: EXTERNAL
43      virtual-interface:
44        type: VIRTIO
45      - external-connection-point-ref: cp_eth2
46        name: eth2

```

```

47         position: '3'
48         type: EXTERNAL
49         virtual-interface:
50             type: VIRTIO
51         vm-flavor:
52             memory-mb: 512
53             storage-gb: 3
54             vcpu-count: 1
55         version: '1.0'

```

### A.30 VNFD Andalucía

```

1     vnfd:vnfd-catalog:
2     vnfd:
3     - connection-point:
4     - id: cp_eth0
5       name: cp_eth0
6       port-security-enabled: false
7       short-name: cp_eth0
8       type: VPORT
9     - id: cp_eth1
10      name: cp_eth1
11      port-security-enabled: false
12      short-name: cp_eth1
13      type: VPORT
14     - id: cp_eth2
15      name: cp_eth2
16      port-security-enabled: false
17      short-name: cp_eth2
18      type: VPORT
19     - id: cp_eth3
20      name: cp_eth3
21      port-security-enabled: false
22      short-name: cp_eth3
23      type: VPORT
24     - id: cp_eth4
25      name: cp_eth4
26      port-security-enabled: false
27      short-name: cp_eth4
28      type: VPORT
29     - id: cp_eth5
30      name: cp_eth5
31      port-security-enabled: false
32      short-name: cp_eth5
33      type: VPORT
34     description: ''
35     id: Router_Andalucia_vnf
36     internal-vld: []
37     mgmt-interface:
38         cp: cp_eth0

```

```

39     name: Router_Andalucia_vnf
40     short-name: Router_Andalucia_vnf
41     vdu:
42     - cloud-init-file: cloud_config_router_andalucia.cfg
43       count: 1
44       description: vm_RAndalucia
45       id: vm_RAndalucia
46       image: vyos_117
47       interface:
48       - external-connection-point-ref: cp_eth0
49         name: eth0
50         position: '1'
51         type: EXTERNAL
52         virtual-interface:
53           type: VIRTIO
54       - external-connection-point-ref: cp_eth1
55         name: eth1
56         position: '2'
57         type: EXTERNAL
58         virtual-interface:
59           type: VIRTIO
60       - external-connection-point-ref: cp_eth2
61         name: eth2
62         position: '3'
63         type: EXTERNAL
64         virtual-interface:
65           type: VIRTIO
66       - external-connection-point-ref: cp_eth3
67         name: eth3
68         position: '4'
69         type: EXTERNAL
70         virtual-interface:
71           type: VIRTIO
72       - external-connection-point-ref: cp_eth4
73         name: eth4
74         position: '5'
75         type: EXTERNAL
76         virtual-interface:
77           type: VIRTIO
78       - external-connection-point-ref: cp_eth5
79         name: eth5
80         position: '6'
81         type: EXTERNAL
82         virtual-interface:
83           type: VIRTIO
84     vm-flavor:
85       memory-mb: 512
86       storage-gb: 3
87       vcpu-count: 1
88     version: '1.0'

```

### A.31 NSD Norte

```
1      nsd:nsd-catalog:
2      nsd:
3      - constituent-vnfd:
4        - member-vnf-index: 1
5          vnfd-id-ref: Router_Galicia_vnf
6        - member-vnf-index: 2
7          vnfd-id-ref: Router_Asturias_vnf
8        - member-vnf-index: 3
9          vnfd-id-ref: Router_Cantabria_vnf
10       - member-vnf-index: 4
11         vnfd-id-ref: Router_PaisVasco_vnf
12       - member-vnf-index: 5
13         vnfd-id-ref: Router_Navarra_vnf
14       - member-vnf-index: 6
15         vnfd-id-ref: Router_Aragon_vnf
16       - member-vnf-index: 7
17         vnfd-id-ref: Router_Catalunia_vnf
18       - member-vnf-index: 8
19         vnfd-id-ref: Router_Rioja_vnf
20       - member-vnf-index: 9
21         vnfd-id-ref: Router_CastillaLeon_vnf
22       description: Red Norte
23       id: Red_Norte
24       ip-profiles:
25       - description: inter_Galicia_Asturias_profile
26         ip-profile-params:
27           dhcp-params:
28             enabled: false
29             ip-version: ipv4
30             subnet-address: 192.168.130.0/30
31         name: inter_Galicia_Asturias_profile
32       - description: inter_Asturias_Cantabria_profile
33         ip-profile-params:
34           dhcp-params:
35             enabled: false
36             ip-version: ipv4
37             subnet-address: 192.168.130.8/30
38         name: inter_Asturias_Cantabria_profile
39       - description: inter_Cantabria_PaisVasco_profile
40         ip-profile-params:
41           dhcp-params:
```



```

42         enabled: false
43         ip-version: ipv4
44         subnet-address: 192.168.130.12/30
45         name: inter_Cantabria_PaisVasco_profile
46     - description: inter_Galicia_PaisVasco_profile
47       ip-profile-params:
48         dhcp-params:
49           enabled: false
50           ip-version: ipv4
51           subnet-address: 192.168.130.4/30
52         name: inter_Galicia_PaisVasco_profile
53     - description: inter_Galicia_CastillaLeon_profile
54       ip-profile-params:
55         dhcp-params:
56           enabled: false
57           ip-version: ipv4
58           subnet-address: 192.168.130.84/30
59         name: inter_Galicia_CastillaLeon_profile
60     - description: inter_PaisVasco_Navarra_profile
61       ip-profile-params:
62         dhcp-params:
63           enabled: false
64           ip-version: ipv4
65           subnet-address: 192.168.130.16/30
66         name: inter_PaisVasco_Navarra_profile
67     - description: inter_Navarra_Aragon_profile
68       ip-profile-params:
69         dhcp-params:
70           enabled: false
71           ip-version: ipv4
72           subnet-address: 192.168.130.24/30
73         name: inter_Navarra_Aragon_profile
74     - description: inter_Aragon_Rioja_profile
75       ip-profile-params:
76         dhcp-params:
77           enabled: false
78           ip-version: ipv4
79           subnet-address: 192.168.130.28/30
80         name: inter_Aragon_Rioja_profile
81     - description: inter_Aragon_Catalunia_profile
82       ip-profile-params:
83         dhcp-params:
84           enabled: false

```

```

85         ip-version: ipv4
86         subnet-address: 192.168.130.32/30
87         name: inter_Aragon_Catalunia_profile
88     - description: inter_Aragon_Madrid_profile
89       ip-profile-params:
90         dhcp-params:
91           enabled: false
92         ip-version: ipv4
93         subnet-address: 192.168.130.44/30
94         name: inter_Aragon_Madrid_profile
95     - description: inter_Rioja_CastillaLeon_profile
96       ip-profile-params:
97         dhcp-params:
98           enabled: false
99         ip-version: ipv4
100        subnet-address: 192.168.130.80/30
101        name: inter_Rioja_CastillaLeon_profile
102    - description: inter_CastillaLeon_Madrid_profile
103      ip-profile-params:
104        dhcp-params:
105          enabled: false
106        ip-version: ipv4
107        subnet-address: 192.168.130.76/30
108        name: inter_CastillaLeon_Madrid_profile
109    - description: inter_Catalunia_Madrid_profile
110      ip-profile-params:
111        dhcp-params:
112          enabled: false
113        ip-version: ipv4
114        subnet-address: 192.168.130.36/30
115        name: inter_Catalunia_Madrid_profile
116    - description: inter_Catalunia_Valencia_profile
117      ip-profile-params:
118        dhcp-params:
119          enabled: false
120        ip-version: ipv4
121        subnet-address: 192.168.130.40/30
122        name: inter_Catalunia_Valencia_profile
123    - description: red_galicia_profile
124      ip-profile-params:
125        dhcp-params:
126          count: 252
127          enabled: true

```

```

128         start-address: 130.206.0.2
129         ip-version: ipv4
130         subnet-address: 130.206.0.1/24
131     name: red_galicia_profile
132 - description: red_asturias_profile
133     ip-profile-params:
134         dhcp-params:
135             count: 252
136             enabled: true
137             start-address: 130.206.1.2
138             ip-version: ipv4
139             subnet-address: 130.206.1.1/24
140     name: red_asturias_profile
141 - description: red_cantabria_profile
142     ip-profile-params:
143         dhcp-params:
144             count: 252
145             enabled: true
146             start-address: 130.206.2.2
147             ip-version: ipv4
148             subnet-address: 130.206.2.1/24
149     name: red_cantabria_profile
150 - description: red_paisvasco_profile
151     ip-profile-params:
152         dhcp-params:
153             count: 252
154             enabled: true
155             start-address: 130.206.3.2
156             ip-version: ipv4
157             subnet-address: 130.206.3.1/24
158     name: red_paisvasco_profile
159 - description: red_navarra_profile
160     ip-profile-params:
161         dhcp-params:
162             count: 252
163             enabled: true
164             start-address: 130.206.4.2
165             ip-version: ipv4
166             subnet-address: 130.206.4.1/24
167     name: red_navarra_profile
168 - description: red_catalunia_profile
169     ip-profile-params:
170         dhcp-params:

```

```

171         count: 252
172         enabled: true
173         start-address: 130.206.5.2
174         ip-version: ipv4
175         subnet-address: 130.206.5.1/24
176         name: red_catalunia_profile
177     - description: red_aragon_profile
178       ip-profile-params:
179         dhcp-params:
180           count: 252
181           enabled: true
182           start-address: 130.206.6.2
183           ip-version: ipv4
184           subnet-address: 130.206.6.1/24
185           name: red_aragon_profile
186     - description: red_rioja_profile
187       ip-profile-params:
188         dhcp-params:
189           count: 252
190           enabled: true
191           start-address: 130.206.7.2
192           ip-version: ipv4
193           subnet-address: 130.206.7.1/24
194           name: red_rioja_profile
195     - description: red_castillaleon_profile
196       ip-profile-params:
197         dhcp-params:
198           count: 252
199           enabled: true
200           start-address: 130.206.9.2
201           ip-version: ipv4
202           subnet-address: 130.206.9.1/24
203           name: red_castillaleon_profile
204     name: Red_Norte
205     short-name: Red_Norte
206     version: '1.0'
207     vld:
208     - id: inter_Galicia_Asturias
209       ip-profile-ref: inter_Galicia_Asturias_profile
210       mgmt-network: 'false'
211       name: inter_Galicia_Asturias
212       short-name: inter_Galicia_Asturias
213       type: ELAN

```

```

214     vnfd-connection-point-ref:
215     - ip-address: 192.168.130.1
216       member-vnf-index-ref: 1
217       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
218       vnfd-id-ref: Router_Galicia_vnf
219     - ip-address: 192.168.130.2
220       member-vnf-index-ref: 2
221       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
222       vnfd-id-ref: Router_Asturias_vnf
223   - id: inter_Asturias_Cantabria
224     ip-profile-ref: inter_Asturias_Cantabria_profile
225     mgmt-network: 'false'
226     name: inter_Asturias_Cantabria
227     short-name: inter_Asturias_Cantabria
228     type: ELAN
229     vnfd-connection-point-ref:
230     - ip-address: 192.168.130.9
231       member-vnf-index-ref: 2
232       vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
233       vnfd-id-ref: Router_Asturias_vnf
234     - ip-address: 192.168.130.10
235       member-vnf-index-ref: 3
236       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
237       vnfd-id-ref: Router_Cantabria_vnf
238   - id: inter_Cantabria_PaisVasco
239     ip-profile-ref: inter_Cantabria_PaisVasco_profile
240     mgmt-network: 'false'
241     name: inter_Cantabria_PaisVasco
242     short-name: inter_Cantabria_PaisVasco
243     type: ELAN
244     vnfd-connection-point-ref:
245     - ip-address: 192.168.130.13
246       member-vnf-index-ref: 3
247       vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
248       vnfd-id-ref: Router_Cantabria_vnf
249     - ip-address: 192.168.130.14
250       member-vnf-index-ref: 4
251       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
252       vnfd-id-ref: Router_PaisVasco_vnf
253   - id: inter_Galicia_PaisVasco
254     ip-profile-ref: inter_Galicia_PaisVasco_profile
255     mgmt-network: 'false'
256     name: inter_Galicia_PaisVasco

```

```

257     short-name: inter_Galicia_PaisVasco
258     type: ELAN
259     vnfd-connection-point-ref:
260     - ip-address: 192.168.130.5
261       member-vnf-index-ref: 1
262       vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
263       vnfd-id-ref: Router_Galicia_vnf
264     - ip-address: 192.168.130.6
265       member-vnf-index-ref: 4
266       vnfd-connection-point-ref: cp_eth3
267       vnfd-id-ref: Router_PaisVasco_vnf
268   - id: inter_Galicia_CastillaLeon
269     ip-profile-ref: inter_Galicia_CastillaLeon_profile
270     mgmt-network: 'false'
271     name: inter_Galicia_CastillaLeon
272     short-name: inter_Galicia_CastillaLeon
273     type: ELAN
274     vnfd-connection-point-ref:
275     - ip-address: 192.168.130.86
276       member-vnf-index-ref: 1
277       vnfd-connection-point-ref: cp_eth3
278       vnfd-id-ref: Router_Galicia_vnf
279     - ip-address: 192.168.130.85
280       member-vnf-index-ref: 9
281       vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
282       vnfd-id-ref: Router_CastillaLeon_vnf
283   - id: inter_PaisVasco_Navarra
284     ip-profile-ref: inter_PaisVasco_Navarra_profile
285     mgmt-network: 'false'
286     name: inter_PaisVasco_Navarra
287     short-name: inter_PaisVasco_Navarra
288     type: ELAN
289     vnfd-connection-point-ref:
290     - ip-address: 192.168.130.17
291       member-vnf-index-ref: 4
292       vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
293       vnfd-id-ref: Router_PaisVasco_vnf
294     - ip-address: 192.168.130.18
295       member-vnf-index-ref: 5
296       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
297       vnfd-id-ref: Router_Navarra_vnf
298   - id: inter_Navarra_Aragon
299     ip-profile-ref: inter_Navarra_Aragon_profile

```

```

300      mgmt-network: 'false'
301      name: inter_Navarra_Aragon
302      short-name: inter_Navarra_Aragon
303      type: ELAN
304      vnfd-connection-point-ref:
305      - ip-address: 192.168.130.25
306        member-vnf-index-ref: 5
307        vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
308        vnfd-id-ref: Router_Navarra_vnf
309      - ip-address: 192.168.130.26
310        member-vnf-index-ref: 6
311        vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
312        vnfd-id-ref: Router_Aragon_vnf
313  - id: inter_Aragon_Rioja
314    ip-profile-ref: inter_Aragon_Rioja_profile
315    mgmt-network: 'false'
316    name: inter_Aragon_Rioja
317    short-name: inter_Aragon_Rioja
318    type: ELAN
319    vnfd-connection-point-ref:
320    - ip-address: 192.168.130.30
321      member-vnf-index-ref: 6
322      vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
323      vnfd-id-ref: Router_Aragon_vnf
324    - ip-address: 192.168.130.29
325      member-vnf-index-ref: 8
326      vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
327      vnfd-id-ref: Router_Rioja_vnf
328  - id: inter_Aragon_Catalunia
329    ip-profile-ref: inter_Aragon_Catalunia_profile
330    mgmt-network: 'false'
331    name: inter_Aragon_Catalunia
332    short-name: inter_Aragon_Catalunia
333    type: ELAN
334    vnfd-connection-point-ref:
335    - ip-address: 192.168.130.33
336      member-vnf-index-ref: 6
337      vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
338      vnfd-id-ref: Router_Aragon_vnf
339    - ip-address: 192.168.130.34
340      member-vnf-index-ref: 7
341      vnfd-connection-point-ref: cp_eth3
342      vnfd-id-ref: Router_Catalunia_vnf

```

```

343 - id: inter_Aragon_Madrid
344   ip-profile-ref: inter_Aragon_Madrid_profile
345   mgmt-network: 'false'
346   name: inter_Aragon_Madrid
347   short-name: inter_Aragon_Madrid
348   type: ELAN
349   vim-network-name: mgmt
350   vnfd-connection-point-ref:
351   - ip-address: 192.168.130.45
352     member-vnf-index-ref: 6
353     vnfd-connection-point-ref: cp_eth4
354     vnfd-id-ref: Router_Aragon_vnf
355 - id: inter_Rioja_CastillaLeon
356   ip-profile-ref: inter_Rioja_CastillaLeon_profile
357   mgmt-network: 'false'
358   name: inter_Rioja_CastillaLeon
359   short-name: inter_Rioja_CastillaLeon
360   type: ELAN
361   vnfd-connection-point-ref:
362   - ip-address: 192.168.130.81
363     member-vnf-index-ref: 8
364     vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
365     vnfd-id-ref: Router_Rioja_vnf
366   - ip-address: 192.168.130.82
367     member-vnf-index-ref: 9
368     vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
369     vnfd-id-ref: Router_CastillaLeon_vnf
370 - id: inter_CastillaLeon_Madrid
371   ip-profile-ref: inter_CastillaLeon_Madrid_profile
372   mgmt-network: 'false'
373   name: inter_CastillaLeon_Madrid
374   short-name: inter_CastillaLeon_Madrid
375   type: ELAN
376   vim-network-name: mgmt
377   vnfd-connection-point-ref:
378   - ip-address: 192.168.130.77
379     member-vnf-index-ref: 9
380     vnfd-connection-point-ref: cp_eth3
381     vnfd-id-ref: Router_CastillaLeon_vnf
382 - id: inter_Catalunia_Madrid
383   ip-profile-ref: inter_Catalunia_Madrid_profile
384   mgmt-network: 'false'
385   name: inter_Catalunia_Madrid

```



```

386     short-name: inter_Catalunia_Madrid
387     type: ELAN
388     vim-network-name: mgmt
389     vnfd-connection-point-ref:
390     - ip-address: 192.168.130.37
391       member-vnf-index-ref: 7
392       vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
393       vnfd-id-ref: Router_Catalunia_vnf
394 - id: inter_Catalunia_Valencia
395   ip-profile-ref: inter_Catalunia_Valencia_profile
396   mgmt-network: 'false'
397   name: inter_Catalunia_Valencia
398   short-name: inter_Catalunia_Valencia
399   type: ELAN
400   vim-network-name: mgmt
401   vnfd-connection-point-ref:
402   - ip-address: 192.168.130.41
403     member-vnf-index-ref: 7
404     vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
405     vnfd-id-ref: Router_Catalunia_vnf
406 - id: red_galicia
407   ip-profile-ref: red_galicia_profile
408   mgmt-network: 'false'
409   name: red_galicia
410   short-name: red_galicia
411   type: ELAN
412   vnfd-connection-point-ref:
413   - ip-address: 130.206.0.1
414     member-vnf-index-ref: 1
415     vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
416     vnfd-id-ref: Router_Galicia_vnf
417 - id: red_asturias
418   ip-profile-ref: red_asturias_profile
419   mgmt-network: 'false'
420   name: red_asturias
421   short-name: red_asturias
422   type: ELAN
423   vnfd-connection-point-ref:
424   - ip-address: 130.206.1.1
425     member-vnf-index-ref: 2
426     vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
427     vnfd-id-ref: Router_Asturias_vnf
428 - id: red_cantabria

```

```

429         ip-profile-ref: red_cantabria_profile
430         mgmt-network: 'false'
431         name: red_cantabria
432         short-name: red_cantabria
433         type: ELAN
434         vnfd-connection-point-ref:
435         - ip-address: 130.206.2.1
436           member-vnf-index-ref: 3
437           vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
438           vnfd-id-ref: Router_Cantabria_vnf
439     - id: red_paisvasco
440       ip-profile-ref: red_paisvasco_profile
441       mgmt-network: 'false'
442       name: red_paisvasco
443       short-name: red_paisvasco
444       type: ELAN
445       vnfd-connection-point-ref:
446       - ip-address: 130.206.3.1
447         member-vnf-index-ref: 4
448         vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
449         vnfd-id-ref: Router_PaisVasco_vnf
450     - id: red_navarra
451       ip-profile-ref: red_navarra_profile
452       mgmt-network: 'false'
453       name: red_navarra
454       short-name: red_navarra
455       type: ELAN
456       vnfd-connection-point-ref:
457       - ip-address: 130.206.4.1
458         member-vnf-index-ref: 5
459         vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
460         vnfd-id-ref: Router_Navarra_vnf
461     - id: red_catalunia
462       ip-profile-ref: red_catalunia_profile
463       mgmt-network: 'false'
464       name: red_catalunia
465       short-name: red_catalunia
466       type: ELAN
467       vnfd-connection-point-ref:
468       - ip-address: 130.206.5.1
469         member-vnf-index-ref: 7
470         vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
471         vnfd-id-ref: Router_Catalunia_vnf

```

```

472     - id: red_aragon
473       ip-profile-ref: red_aragon_profile
474       mgmt-network: 'false'
475       name: red_aragon
476       short-name: red_aragon
477       type: ELAN
478       vnfd-connection-point-ref:
479     - ip-address: 130.206.6.1
480       member-vnf-index-ref: 6
481       vnfd-connection-point-ref: cp_eth3
482       vnfd-id-ref: Router_Aragon_vnf
483     - id: red_rioja
484       ip-profile-ref: red_rioja_profile
485       mgmt-network: 'false'
486       name: red_rioja
487       short-name: red_rioja
488       type: ELAN
489       vnfd-connection-point-ref:
490     - ip-address: 130.206.7.1
491       member-vnf-index-ref: 8
492       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
493       vnfd-id-ref: Router_Rioja_vnf
494     - id: red_castillaleon
495       ip-profile-ref: red_castillaleon_profile
496       mgmt-network: 'false'
497       name: red_castillaleon_profile
498       short-name: red_castillaleon_profile
499       type: ELAN
500       vnfd-connection-point-ref:
501     - ip-address: 130.206.9.1
502       member-vnf-index-ref: 9
503       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
504       vnfd-id-ref: Router_CastillaLeon_vnf

```

### A.32 NSD Sur

```

1      nsd:nsd-catalog:
2      nsd:
3      - constituent-vnfd:
4      - member-vnf-index: 1
5        vnfd-id-ref: Router_Madrid_vnf
6      - member-vnf-index: 2
7        vnfd-id-ref: Router_CastillaMancha_vnf
8      - member-vnf-index: 3

```

```

9          vnfd-id-ref: Router_Valencia_vnf
10     - member-vnf-index: 4
11          vnfd-id-ref: Router_Extremadura_vnf
12     - member-vnf-index: 5
13          vnfd-id-ref: Router_Murcia_vnf
14     - member-vnf-index: 6
15          vnfd-id-ref: Router_Andalucia_vnf
16 description: Red Sur
17 id: Red_Sur
18 ip-profiles:
19     - description: inter_CastillaLeon_Madrid_profile
20       ip-profile-params:
21         dhcp-params:
22           enabled: false
23           ip-version: ipv4
24           subnet-address: 192.168.130.76/30
25       name: inter_CastillaLeon_Madrid_profile
26     - description: inter_Valencia_Madrid_profile
27       ip-profile-params:
28         dhcp-params:
29           enabled: false
30           ip-version: ipv4
31           subnet-address: 192.168.130.48/30
32       name: inter_Valencia_Madrid_profile
33     - description: inter_Aragon_Madrid_profile
34       ip-profile-params:
35         dhcp-params:
36           enabled: false
37           ip-version: ipv4
38           subnet-address: 192.168.130.44/30
39       name: inter_Aragon_Madrid_profile
40     - description: inter_Catalunia_Madrid_profile
41       ip-profile-params:
42         dhcp-params:
43           enabled: false
44           ip-version: ipv4
45           subnet-address: 192.168.130.36/30
46       name: inter_Catalunia_Madrid_profile
47     - description: inter_CastillaMancha_Madrid_profile
48       ip-profile-params:
49         dhcp-params:
50           enabled: false
51           ip-version: ipv4

```

```

52         subnet-address: 192.168.130.92/30
53     name: inter_CastillaMancha_Madrid_profile
54 - description: inter_Andalucia_Madrid_profile
55     ip-profile-params:
56         dhcp-params:
57             enabled: false
58             ip-version: ipv4
59         subnet-address: 192.168.130.64/30
60     name: inter_Andalucia_Madrid_profile
61 - description: inter_Extremadura_Madrid_profile
62     ip-profile-params:
63         dhcp-params:
64             enabled: false
65             ip-version: ipv4
66         subnet-address: 192.168.130.72/30
67     name: inter_Extremadura_Madrid_profile
68 - description: inter_Extremadura_Andalucia_profile
69     ip-profile-params:
70         dhcp-params:
71             enabled: false
72             ip-version: ipv4
73         subnet-address: 192.168.130.68/30
74     name: inter_Extremadura_Andalucia_profile
75 - description: inter_CastillaMancha_Andalucia_profile
76     ip-profile-params:
77         dhcp-params:
78             enabled: false
79             ip-version: ipv4
80         subnet-address: 192.168.130.88/30
81     name: inter_CastillaMancha_Andalucia_profile
82 - description: inter_Catalunia_Valencia_profile
83     ip-profile-params:
84         dhcp-params:
85             enabled: false
86             ip-version: ipv4
87         subnet-address: 192.168.130.40/30
88     name: inter_Catalunia_Valencia_profile
89 - description: inter_Valencia_Murcia_profile
90     ip-profile-params:
91         dhcp-params:
92             enabled: false
93             ip-version: ipv4
94         subnet-address: 192.168.130.56/30

```

```

95         name: inter_Valencia_Murcia_profile
96     - description: inter_Valencia_Andalucia_profile
97       ip-profile-params:
98         dhcp-params:
99           enabled: false
100         ip-version: ipv4
101         subnet-address: 192.168.130.52/30
102     name: inter_Valencia_Andalucia_profile
103 - description: inter_Murcia_Andalucia_profile
104   ip-profile-params:
105     dhcp-params:
106       enabled: false
107     ip-version: ipv4
108     subnet-address: 192.168.130.60/30
109   name: inter_Murcia_Andalucia_profile
110 - description: red_madrid_profile
111   ip-profile-params:
112     dhcp-params:
113       count: 252
114       enabled: true
115       start-address: 130.206.8.2
116     dns-server:
117       - address: 130.206.8.20
118     ip-version: ipv4
119     subnet-address: 130.206.8.1/24
120   name: red_madrid_profile
121 - description: red_castillamancha_profile
122   ip-profile-params:
123     dhcp-params:
124       count: 252
125       enabled: true
126       start-address: 130.206.11.2
127     dns-server:
128       - address: 130.206.8.20
129     ip-version: ipv4
130     subnet-address: 130.206.11.1/24
131   name: red_castillamancha_profile
132 - description: red_valencia_profile
133   ip-profile-params:
134     dhcp-params:
135       count: 252
136       enabled: true
137       start-address: 130.206.12.2

```

```

138         dns-server:
139         - address: 130.206.8.20
140         ip-version: ipv4
141         subnet-address: 130.206.12.1/24
142     name: red_valencia_profile
143 - description: red_extremadura_profile
144     ip-profile-params:
145         dhcp-params:
146         count: 252
147         enabled: true
148         start-address: 130.206.10.2
149         dns-server:
150         - address: 130.206.8.20
151         ip-version: ipv4
152         subnet-address: 130.206.10.1/24
153     name: red_extremadura_profile
154 - description: red_murcia_profile
155     ip-profile-params:
156         dhcp-params:
157         count: 252
158         enabled: true
159         start-address: 130.206.13.2
160         dns-server:
161         - address: 130.206.8.20
162         ip-version: ipv4
163         subnet-address: 130.206.13.1/24
164     name: red_murcia_profile
165 - description: red_andalucia_profile
166     ip-profile-params:
167         dhcp-params:
168         count: 252
169         enabled: true
170         start-address: 130.206.14.2
171         dns-server:
172         - address: 130.206.8.20
173         ip-version: ipv4
174         subnet-address: 130.206.14.1/24
175     name: red_andalucia_profile
176 name: Red_Sur
177 short-name: Red_Sur
178 version: '1.0'
179 vld:
180 - id: inter_CastillaLeon_Madrid

```

```

181 ip-profile-ref: inter_CastillaLeon_Madrid_profile
182 mgmt-network: 'false'
183 name: inter_CastillaLeon_Madrid
184 short-name: inter_CastillaLeon_Madrid
185 type: ELAN
186 vim-network-name: mgmt
187 vnfd-connection-point-ref:
188 - ip-address: 192.168.130.78
189   member-vnf-index-ref: 1
190   vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
191   vnfd-id-ref: Router_Madrid_vnf
192 - id: inter_Valencia_Madrid
193   ip-profile-ref: inter_Valencia_Madrid_profile
194   mgmt-network: 'false'
195   name: inter_Valencia_Madrid
196   short-name: inter_Valencia_Madrid
197   type: ELAN
198   vnfd-connection-point-ref:
199   - ip-address: 192.168.130.49
200     member-vnf-index-ref: 1
201     vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
202     vnfd-id-ref: Router_Madrid_vnf
203   - ip-address: 192.168.130.50
204     member-vnf-index-ref: 3
205     vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
206     vnfd-id-ref: Router_Valencia_vnf
207 - id: inter_Aragon_Madrid
208   ip-profile-ref: inter_Aragon_Madrid_profile
209   mgmt-network: 'false'
210   name: inter_Aragon_Madrid
211   short-name: inter_Aragon_Madrid
212   type: ELAN
213   vim-network-name: mgmt
214   vnfd-connection-point-ref:
215   - ip-address: 192.168.130.46
216     member-vnf-index-ref: 1
217     vnfd-connection-point-ref: cp_eth3
218     vnfd-id-ref: Router_Madrid_vnf
219 - id: inter_Catalunia_Madrid
220   ip-profile-ref: inter_Catalunia_Madrid_profile
221   mgmt-network: 'false'
222   name: inter_Catalunia_Madrid
223   short-name: inter_Catalunia_Madrid

```



```

224         type: ELAN
225         vim-network-name: mgmt
226         vnfd-connection-point-ref:
227         - ip-address: 192.168.130.38
228           member-vnf-index-ref: 1
229           vnfd-connection-point-ref: cp_eth4
230           vnfd-id-ref: Router_Madrid_vnf
231     - id: inter_CastillaMancha_Madrid
232       ip-profile-ref: inter_CastillaMancha_Madrid_profile
233       mgmt-network: 'false'
234       name: inter_CastillaMancha_Madrid
235       short-name: inter_CastillaMancha_Madrid
236       type: ELAN
237       vnfd-connection-point-ref:
238       - ip-address: 192.168.130.94
239         member-vnf-index-ref: 1
240         vnfd-connection-point-ref: cp_eth5
241         vnfd-id-ref: Router_Madrid_vnf
242       - ip-address: 192.168.130.93
243         member-vnf-index-ref: 2
244         vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
245         vnfd-id-ref: Router_CastillaMancha_vnf
246     - id: inter_Andalucia_Madrid
247       ip-profile-ref: inter_Andalucia_Madrid_profile
248       mgmt-network: 'false'
249       name: inter_Andalucia_Madrid
250       short-name: inter_Andalucia_Madrid
251       type: ELAN
252       vnfd-connection-point-ref:
253       - ip-address: 192.168.130.65
254         member-vnf-index-ref: 1
255         vnfd-connection-point-ref: cp_eth6
256         vnfd-id-ref: Router_Madrid_vnf
257       - ip-address: 192.168.130.66
258         member-vnf-index-ref: 6
259         vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
260         vnfd-id-ref: Router_Andalucia_vnf
261     - id: inter_Extremadura_Madrid
262       ip-profile-ref: inter_Extremadura_Madrid_profile
263       mgmt-network: 'false'
264       name: inter_Extremadura_Madrid
265       short-name: inter_Extremadura_Madrid
266       type: ELAN

```

```

267         vnfd-connection-point-ref:
268         - ip-address: 192.168.130.74
269           member-vnf-index-ref: 1
270           vnfd-connection-point-ref: cp_eth7
271           vnfd-id-ref: Router_Madrid_vnf
272         - ip-address: 192.168.130.73
273           member-vnf-index-ref: 4
274           vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
275           vnfd-id-ref: Router_Extremadura_vnf
276         - id: inter_Extremadura_Andalucia
277           ip-profile-ref: inter_Extremadura_Andalucia_profile
278           mgmt-network: 'false'
279           name: inter_Extremadura_Andalucia
280           short-name: inter_Extremadura_Andalucia
281           type: ELAN
282         vnfd-connection-point-ref:
283         - ip-address: 192.168.130.70
284           member-vnf-index-ref: 4
285           vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
286           vnfd-id-ref: Router_Extremadura_vnf
287         - ip-address: 192.168.130.69
288           member-vnf-index-ref: 6
289           vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
290           vnfd-id-ref: Router_Andalucia_vnf
291         - id: inter_CastillaMancha_Andalucia
292           ip-profile-ref:
inter_CastillaMancha_Andalucia_profile
293           mgmt-network: 'false'
294           name: inter_CastillaMancha_Andalucia
295           short-name: inter_CastillaMancha_Andalucia
296           type: ELAN
297         vnfd-connection-point-ref:
298         - ip-address: 192.168.130.89
299           member-vnf-index-ref: 2
300           vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
301           vnfd-id-ref: Router_CastillaMancha_vnf
302         - ip-address: 192.168.130.90
303           member-vnf-index-ref: 6
304           vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
305           vnfd-id-ref: Router_Andalucia_vnf
306         - id: inter_Valencia_Andalucia
307           ip-profile-ref: inter_Valencia_Andalucia_profile
308           mgmt-network: 'false'
309           name: inter_Valencia_Andalucia

```

```

310     short-name: inter_Valencia_Andalucia
311     type: ELAN
312     vnfd-connection-point-ref:
313     - ip-address: 192.168.130.53
314       member-vnf-index-ref: 3
315       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
316       vnfd-id-ref: Router_Valencia_vnf
317     - ip-address: 192.168.130.54
318       member-vnf-index-ref: 6
319       vnfd-connection-point-ref: cp_eth3
320       vnfd-id-ref: Router_Andalucia_vnf
321 - id: inter_Valencia_Murcia
322   ip-profile-ref: inter_Valencia_Murcia_profile
323   mgmt-network: 'false'
324   name: inter_Valencia_Murcia
325   short-name: inter_Valencia_Murcia
326   type: ELAN
327   vnfd-connection-point-ref:
328   - ip-address: 192.168.130.57
329     member-vnf-index-ref: 3
330     vnfd-connection-point-ref: cp_eth4
331     vnfd-id-ref: Router_Valencia_vnf
332   - ip-address: 192.168.130.58
333     member-vnf-index-ref: 5
334     vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
335     vnfd-id-ref: Router_Murcia_vnf
336 - id: inter_Catalunia_Valencia
337   ip-profile-ref: inter_Catalunia_Valencia_profile
338   mgmt-network: 'false'
339   name: inter_Catalunia_Valencia
340   short-name: inter_Catalunia_Valencia
341   type: ELAN
342   vim-network-name: mgmt
343   vnfd-connection-point-ref:
344   - ip-address: 192.168.130.42
345     member-vnf-index-ref: 3
346     vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
347     vnfd-id-ref: Router_Valencia_vnf
348 - id: inter_Murcia_Andalucia
349   ip-profile-ref: inter_Murcia_Andalucia_profile
350   mgmt-network: 'false'
351   name: inter_Murcia_Andalucia
352   short-name: inter_Murcia_Andalucia

```

```

353         type: ELAN
354         vnfd-connection-point-ref:
355         - ip-address: 192.168.130.61
356           member-vnf-index-ref: 5
357           vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
358           vnfd-id-ref: Router_Murcia_vnf
359         - ip-address: 192.168.130.62
360           member-vnf-index-ref: 6
361           vnfd-connection-point-ref: cp_eth4
362           vnfd-id-ref: Router_Andalucia_vnf
363     - id: red_madrid
364       ip-profile-ref: red_madrid_profile
365       mgmt-network: 'false'
366       name: red_madrid
367       short-name: red_madrid
368       type: ELAN
369       vnfd-connection-point-ref:
370       - ip-address: 130.206.8.1
371         member-vnf-index-ref: 1
372         vnfd-connection-point-ref: cp_eth1
373         vnfd-id-ref: Router_Madrid_vnf
374     - id: red_castillamancha
375       ip-profile-ref: red_castillamancha_profile
376       mgmt-network: 'false'
377       name: red_castillamancha
378       short-name: red_castillamancha
379       type: ELAN
380       vnfd-connection-point-ref:
381       - ip-address: 130.206.11.1
382         member-vnf-index-ref: 2
383         vnfd-connection-point-ref: cp_eth2
384         vnfd-id-ref: Router_CastillaMancha_vnf
385     - id: red_valencia
386       ip-profile-ref: red_valencia_profile
387       mgmt-network: 'false'
388       name: red_valencia
389       short-name: red_valencia
390       type: ELAN
391       vnfd-connection-point-ref:
392       - ip-address: 130.206.12.1
393         member-vnf-index-ref: 3
394         vnfd-connection-point-ref: cp_eth3
395         vnfd-id-ref: Router_Valencia_vnf

```

```

396     - id: red_extremadura
397       ip-profile-ref: red_extremadura_profile
398       mgmt-network: 'false'
399       name: red_extremadura
400       short-name: red_extremadura
401       type: ELAN
402       vnfd-connection-point-ref:
403     - ip-address: 130.206.10.1
404       member-vnf-index-ref: 4
405       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
406       vnfd-id-ref: Router_Extremadura_vnf
407     - id: red_murcia
408       ip-profile-ref: red_murcia_profile
409       mgmt-network: 'false'
410       name: red_murcia
411       short-name: red_murcia
412       type: ELAN
413       vnfd-connection-point-ref:
414     - ip-address: 130.206.13.1
415       member-vnf-index-ref: 5
416       vnfd-connection-point-ref: cp_eth0
417       vnfd-id-ref: Router_Murcia_vnf
418     - id: red_andalucia
419       ip-profile-ref: red_andalucia_profile
420       mgmt-network: 'false'
421       name: red_andalucia
422       short-name: red_andalucia
423       type: ELAN
424       vnfd-connection-point-ref:
425     - ip-address: 130.206.14.1
426       member-vnf-index-ref: 6
427       vnfd-connection-point-ref: cp_eth5
428       vnfd-id-ref: Router_Andalucia_vnf

```

## B. Fichero de configuración test JMeter

```

1    <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2
3    <jmeterTestPlan version="1.2" properties="4.0" jmeter="4.0 r1823414">
4
5        <hashTree>
6

```

```

7      <TestPlan guiclass="TestPlanGui" testclass="TestPlan" testname="Test
Plan" enabled="true">
8
9          <stringProp name="TestPlan.comments"></stringProp>
10
11          <boolProp name="TestPlan.functional_mode">false</boolProp>
12
13          <boolProp name="TestPlan.tearDown_on_shutdown">true</boolProp>
14
15          <boolProp name="TestPlan.serialize_threadgroups">false</boolProp>
16
17          <elementProp
name="TestPlan.user_defined_variables"
elementType="Arguments" guiclass="ArgumentsPanel" testclass="Arguments"
testname="User Defined Variables" enabled="true">
18
19              <collectionProp name="Arguments.arguments"/>
20
21          </elementProp>
22
23          <stringProp name="TestPlan.user_define_classpath"></stringProp>
24
25      </TestPlan>
26
27      <hashTree>
28
29          <ThreadGroup guiclass="ThreadGroupGui" testclass="ThreadGroup"
testname="Thread Group" enabled="true">
30
31              <stringProp
name="ThreadGroup.on_sample_error">continue</stringProp>
32
33              <elementProp
name="ThreadGroup.main_controller"
elementType="LoopController" guiclass="LoopControlPanel"
testclass="LoopController" testname="Loop Controller" enabled="true">
34
35                  <boolProp
name="LoopController.continue_forever">false</boolProp>
36
37                  <stringProp name="LoopController.loops">10</stringProp>
38
39              </elementProp>
40
41              <stringProp name="ThreadGroup.num_threads">2</stringProp>
42
43              <stringProp name="ThreadGroup.ramp_time">1</stringProp>
44
45              <boolProp name="ThreadGroup.scheduler">true</boolProp>
46
47              <stringProp name="ThreadGroup.duration">300</stringProp>
48
49              <stringProp name="ThreadGroup.delay"></stringProp>
50
51          </ThreadGroup>

```

```

52
53     <hashTree>
54
55         <LoopController                                guiclass="LoopControlPanel"
testclass="LoopController" testname="Loop Controller" enabled="true">
56
57             <boolProp
name="LoopController.continue_forever">true</boolProp>
58
59             <intProp name="LoopController.loops">-1</intProp>
60
61         </LoopController>
62
63     <hashTree>
64
65         <HTTPSamplerProxy                                guiclass="HttpTestSampleGui"
testclass="HTTPSamplerProxy" testname="HTTP Request" enabled="true">
66
67             <elementProp                                name="HTTPSampler.Arguments"
elementType="Arguments" guiclass="HTTPArgumentsPanel" testclass="Arguments"
enabled="true">
68
69                 <collectionProp name="Arguments.arguments"/>
70
71             </elementProp>
72
73             <stringProp name="HTTPSampler.domain"></stringProp>
74
75             <stringProp name="HTTPSampler.port"></stringProp>
76
77             <stringProp name="HTTPSampler.protocol"></stringProp>
78
79             <stringProp name="HTTPSampler.contentEncoding"></stringProp>
80
81             <stringProp
name="HTTPSampler.path">http://videoseverorig.es/wp-
content/uploads/2020/10/Video4k.mp4</stringProp>
82
83             <stringProp name="HTTPSampler.method">GET</stringProp>
84
85             <boolProp name="HTTPSampler.follow_redirects">true</boolProp>
86
87             <boolProp name="HTTPSampler.auto_redirects">false</boolProp>
88
89             <boolProp name="HTTPSampler.use_keepalive">true</boolProp>
90
91             <boolProp
name="HTTPSampler.DO_MULTIPART_POST">false</boolProp>
92
93             <stringProp name="HTTPSampler.embedded_url_re"></stringProp>
94
95             <stringProp name="HTTPSampler.connect_timeout"></stringProp>
96

```

```
97         <stringProp name="HTTPSampler.response_timeout"></stringProp>
98
99     </HTTPSamplerProxy>
100
101     <hashTree/>
102
103     </hashTree>
104
105     </hashTree>
106
107     </hashTree>
108
109     </hashTree>
110
111 </jmeterTestPlan>
```